

**LUIZ FERNANDO MACEDO MORESCKI JUNIOR**

**DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS PCOs E PCVs DE  
ANTENAS GNSS UTILIZANDO PROPAGAÇÃO NUMÉRICA**

**Tese apresentada como requisito parcial à  
obtenção do grau de Doutor em Ciências  
Geodésicas ao Curso de Pós- Graduação  
em Ciências Geodésicas, Setor de  
Ciências da Terra, Universidade Federal  
do Paraná.**

**Orientador:**

**Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira**

**CURITIBA**

**2015**

**DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS PCOs E PCVs DE  
ANTENAS GNSS UTILIZANDO PROPAGAÇÃO NUMÉRICA**

M843d

Morescki Junior, Luiz Fernando Macedo

Determinação dos parâmetros PCOs e PCVs de antenas GNSS utilizando propagação numérica / Luiz Fernando Macedo Morescki Junior ; orientador, Luiz Danilo Damasceno Ferreira – Curitiba , 2015.

135 f.

Orientador: Luiz Danilo Damasceno Ferreira.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

1. Variações do centro de fase. 2. Propagação numérica.  
3. Wasoft/kalib . I. Ferreira, Luiz Danilo Damasceno Ferreira. II. Título.

CDD 526.6


## TERMO DE APROVAÇÃO

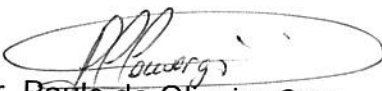
LUIZ FERNANDO MACEDO MORESCKI JUNIOR

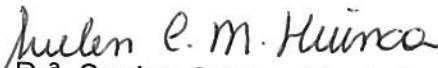
"DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS PCOs E PCVs DE ANTENAS GNSS  
UTILIZANDO PROPAGAÇÃO NUMÉRICA"

Tese nº 94 aprovada como requisito parcial do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:


Orientador:

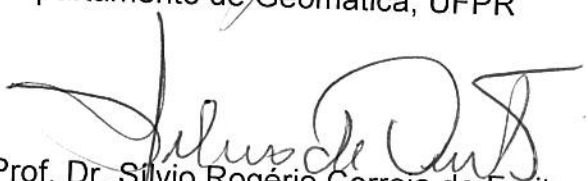
  
Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira  
Departamento de Geomática, UFPR

  
Prof. Dr. Paulo de Oliveira Camargo  
Universidade Estadual Paulista, UNESP

  
Profª. Drª. Suelen Cristina Movio Huinca  
Universidade Federal de Pelotas, UFPel

  
Profª. Drª. Regiane Dalazoana  
Departamento de Geomática, UFPR

  
Profª. Drª. Claudia Pereira Krueger  
Departamento de Geomática, UFPR

  
Prof. Dr. Silvio Rogério Correia de Freitas  
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 12 de fevereiro de 2015.



Gostaria que minha filha mantivesse para sempre sua linda idade de 9 anos ...

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela oportunidade da vida.

A meus pais pela educação recebida.

À minha esposa, Luciana e à minha filha Manuela pelo apoio durante os anos em que precisei me dedicar a este projeto. E a quem peço desculpas pelas vezes em que fui negligente perante tarefas no lar e momentos em família por conta de compromissos com os estudos e o trabalho.

Ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas pelo acolhimento.

Ao LAGEH (Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia) pelo fornecimento de dados de levantamento e utilização de equipamentos.

Ao professor Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira pela oportunidade de realização desta pesquisa e pela incansável orientação, participação e paciência. A quem manifesto considerável admiração e respeito pela conduta profissional e, principalmente, pessoal. Sempre demonstrando respeito, integridade e humildade. Fico grato pelo convívio que se iniciou durante os estudos de Mestrado.

Aos professores Dra. Cláudia Pereira Krüger e Dr. Paulo de Oliveira Camargo pelas recomendações para melhorar o trabalho no exame de Qualificação.

À colega e professora Dra. Suelen Huinca e à colega Renata Werlich pelas orientações e esclarecimentos acerca do assunto pesquisado.

Ao professor Dr. Jaime Freiburger Junior pela possibilidade de acesso a algumas referências bibliográficas.

Ao professor Dr. Álvaro Muriel pelas orientações prestadas sobre a análise estatística.

Aos amigos Armando Heilmann, Cesar Dartora, Ezequiel Burkarter e Fabiano Tomazi pelas conversas descontraídas nos horários de folga.

À secretária Verali Mônica Kleuser pela orientação na resolução de problemas burocráticos.

Ao Instituto Federal de Santa Catarina pela concessão de licenças para a qualificação.

À CAPES pelo auxílio financeiro concedido.

## RESUMO

A acurácia nas aplicações do sistema de posicionamento por satélites artificiais é degradada por algumas fontes de erros cujos efeitos necessitam ser tratados de maneira adequada para que o sistema desempenhe, com máxima eficácia, as suas funções. Para que as observações alcancem uma qualidade milimétrica na determinação de coordenadas tridimensionais na superfície da Terra, é necessário que os erros decorrentes da variação do centro de fase da antena do receptor sejam conhecidos e modelados, uma vez que a posição é estimada justamente onde se encontra a antena. Discrepâncias de até 10 cm em altitude podem ocorrer se os erros forem negligenciados. A modelagem depende do conhecimento dos parâmetros associados à localização do centro de fase, PCO e PCV, os quais são determinados mediante procedimentos de calibração em caráter absoluto ou relativo que empregam programas específicos. Neste trabalho são utilizados dados de calibrações relativas da antena LEICA AX 1202 GG conduzidas pela BCAL/UFPR que utilizam o programa de calibração WaSoft/Kalib. Parâmetros PCOs, estabelecidos pelo programa, parâmetros próprios, são considerados como condições iniciais e propagados, por integração numérica, até uma data final. Com base nos parâmetros PCOs propagados, novos parâmetros PCVs também são determinados para a antena. Visando a validação do método, os parâmetros preditos são comparados aos parâmetros próprios para a mesma época e aplicados no processamento de observações GPS de maneira que as coordenadas obtidas sejam confrontadas com aquelas determinadas mediante o emprego de parâmetros próprios. Ao todo, dados de 13 campanhas de calibração foram utilizados para a realização de 22 experimentos envolvendo diferentes propagações e a determinação de coordenadas de pontos que apresentam diferentes linhas de base. Os resultados revelam uma discrepância de pouco mais de 2 mm entre a coordenada altitude elipsoidal determinada com parâmetros propagados e o respectivo valor obtido com parâmetros próprios. Percebe-se também que a utilização de dados provenientes de campanhas de calibração afetadas por precipitação podem resultar em diferenças de quase 7 mm na referida coordenada.

**Palavras-Chave:** variações do centro de fase, propagação numérica, wasoft/kalib.

## ABSTRACT

The accuracy on the applications of the artificial satellite positioning system is degraded by some errors sources whose effects need to be treated adequately so the system performs its functions with greatest efficiency. To achieve millimeter quality observations on the determination of three-dimensional coordinates on the surface of the Earth, it is necessary that the errors derived from the variation of the receiver antenna's phase center be known and modeled, once the position is estimated rightly where the antenna is placed. Discrepancies of up to 10 mm in height can occur if the errors are neglected. The modeling depends on the knowledge of parameters associated to the location of the phase center, PCO and PCV, which are determined through calibration proceedings in absolute or relative character that employ specific programs. In this work, relative calibrations data, conducted by BCAL/UFPR, of the LEICA AX 1202 GG antenna, that use the WaSoft/Kalib calibration program, were utilized. PCOs parameters, established by the program, proper parameters, are considered as initial conditions and propagated, by numeric integration, until a final date. Based on propagated PCOs parameters, new PCVs parameters are also determined for the antenna. Aiming the method validation, the predicted parameters are compared to the proper parameters for the same epoch and applied on the GPS observation process in a way that the obtained coordinates be confronted with those determined through proper parameters use. Altogether, 13 calibration campaign data were utilized for the achievement of 22 experiments involving different propagations and the determination the coordinates of points with different baselines. The results show a discrepancy just over 2 mm between the ellipsoidal altitude coordinate determined with propagated parameters and the respective value obtained with proper parameters. It is also noticed that the utilization of data originating from calibration campaigns affected by precipitation can result in differences of almost 7 mm on the cited coordinate.

**Keywords:** phase center variations, numerical propagation, wasoft/kalib.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ONDA ELETROMAGNÉTICA PLANA SE PROPAGANDO NA DIREÇÃO DO EIXO 'Z'	21
FIGURA 2 – POLARIZAÇÃO LINEAR DA ONDA ELETROMAGNÉTICA PLANA: (a) POLARIZAÇÃO SOBRE O EIXO 'X'; (b) POLARIZAÇÃO SOBRE O EIXO 'Y'	23
FIGURA 3 – POLARIZAÇÃO CIRCULAR DA ONDA ELETROMAGNÉTICA PLANA: (a) RHCP; (b) LHCP	24
FIGURA 4 – POLARIZAÇÃO ELÍPTICA DA ONDA PLANA: (a) POLARIZAÇÃO ELÍPTICA À DIREITA, (b) POLARIZAÇÃO ELÍPTICA À ESQUERDA	24
FIGURA 5 – EXEMPLO DE DIAGRAMA DE RADIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DE UMA ANTENA DIRECIONAL	26
FIGURA 6 – EXEMPLO DE DIAGRAMA DE RADIAÇÃO, EM dB, EM FUNÇÃO DA DIREÇÃO ANGULAR $\theta$ PARA UMA ANTENA DIRECIONAL	27
FIGURA 7 – EXEMPLO DE PADRÃO DE RADIAÇÃO OMNIDIRECIONAL	28
FIGURA 8 – ANTENAS UTILIZADAS EM RECEPTORES GNSS	31
FIGURA 9 – ANTENA LEICA AR25 CHOKE RING '3D'	32
FIGURA 10 – MODELO DE ANTENA MICROSTRIP PATCH RETANGULAR	33
FIGURA 11 – CENTRO DE FASE DA ANTENA DEPENDENTE DO ÂNGULO DE OBSERVAÇÃO	35
FIGURA 12 – LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE REFERÊNCIA DA ANTENA – ARP	37
FIGURA 13 – IDENTIFICAÇÃO DO CF, CFM, VETOR PCO E DAS PCV	37
FIGURA 14 – COMPONENTES DO VETOR PCO	38
FIGURA 15 – INTERPRETAÇÃO DAS PCV UTILIZANDO O DIAGRAMA DE FASE	39
FIGURA 16 – GEOMETRIA DAS CORREÇÕES A SEREM REALIZADAS AO ARP	40
FIGURA 17 – FLUXOGRAMA DA PROPOSTA METODOLÓGICA	48
FIGURA 18 – REPRESENTAÇÃO PARCIAL DO ARQUIVO QUE CONTÉM OS PARÂMETROS PCO E PCV DO PROGRAMA WASOFT/KALIB	49
FIGURA 19 – COMPORTAMENTO DA COMPONENTE VERTICAL DO VETOR PCO PROPAGADO – ONDA PORTADORA L1	52
FIGURA 20 – COMPORTAMENTO DA COMPONENTE VERTICAL DO VETOR PCO PROPAGADO – ONDA PORTADORA L2	52
FIGURA 21 – COMPONENTES DO VETOR DO VETOR UNITÁRIO ( $e$ )	54
FIGURA 22 – PRÉDIO DAS INSTALAÇÕES DA BCAL/UFPR	57
FIGURA 23 – PILARES 1000 E 2000 DA BCAL/UFPR	58
FIGURA 24 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 1	64
FIGURA 25 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 1	65
FIGURA 26 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 2	67
FIGURA 27 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 2	67
FIGURA 28 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 3	70
FIGURA 29 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 3	70
FIGURA 30 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 4	72
FIGURA 31 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 4	73
FIGURA 32 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 5	75
FIGURA 33 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 5	75
FIGURA 34 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 6	77
FIGURA 35 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 6	78
FIGURA 36 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 7	80

FIGURA 37 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 7 .....	81
FIGURA 38 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 8 .....	83
FIGURA 39 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 8 .....	83
FIGURA 40 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 9 .....	85
FIGURA 41 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 9 .....	86
FIGURA 42 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 10 .....	88
FIGURA 43 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 10 .....	89
FIGURA 44 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 11 .....	91
FIGURA 45 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 11 .....	91
FIGURA 46 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 12 .....	93
FIGURA 47 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 12 .....	94
FIGURA 48 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 13 .....	96
FIGURA 49 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 13 .....	96
FIGURA 50 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 14 .....	98
FIGURA 51 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 14 .....	99
FIGURA 52 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 15 .....	101
FIGURA 53 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 15 .....	101
FIGURA 54 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 16 .....	103
FIGURA 55 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 16 .....	104
FIGURA 56 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 17 .....	106
FIGURA 57 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 17 .....	106
FIGURA 58 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 18 .....	108
FIGURA 59 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 18 .....	109
FIGURA 60 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 19 .....	111
FIGURA 61 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 19 .....	111
FIGURA 62 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 20 .....	114
FIGURA 63 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 20 .....	114
FIGURA 64 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 21 .....	117
FIGURA 65 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 21 .....	118
FIGURA 66 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 22 .....	120

FIGURA 67 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 22 .....	120
FIGURA 68 – COMPARAÇÃO ENTRE AS COMPONENTES VERTICAIS DOS VETORES PCOs PROPAGADOS E PRÓPRIOS .....	122
FIGURA 69 – DIFERENÇA MÁXIMA ENTRE OS PARÂMETROS PCVs PROPAGADOS E PRÓPRIOS .....	123
FIGURA 70 – DIFERENÇA DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS DETERMINADAS COM O EMPREGO DE DIFERENTES PCOs E PCVs. ....	124

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 1	63
TABELA 2 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 1	65
TABELA 3 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 2	66
TABELA 4 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 2	68
TABELA 5 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 3	69
TABELA 6 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 3	71
TABELA 7 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 4	72
TABELA 8 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 4	73
TABELA 9 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 5	74
TABELA 10 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 5	76
TABELA 11 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 6	77
TABELA 12 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 6	78
TABELA 13 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 7	79
TABELA 14 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 7	81
TABELA 15 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 8	82
TABELA 16 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 8	84
TABELA 17 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 9	85
TABELA 18 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 9	86
TABELA 19 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 10	87
TABELA 20 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 1 – EXPERIMENTO 10	89
TABELA 21 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 11	90
TABELA 22 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 1 – EXPERIMENTO 11	92
TABELA 23 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 12	93
TABELA 24 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 1 – EXPERIMENTO 12	94
TABELA 25 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 13	95
TABELA 26 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 2 – EXPERIMENTO 13	97
TABELA 27 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 14	98
TABELA 28 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 2 – EXPERIMENTO 14	99
TABELA 29 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 15	100
TABELA 30 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 2 – EXPERIMENTO 15	102
TABELA 31 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 16	103
TABELA 32 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 2 – EXPERIMENTO 16	104
TABELA 33 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 17	105
TABELA 34 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 2 – EXPERIMENTO 17	107
TABELA 35 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 18	108
TABELA 36 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 3 – EXPERIMENTO 18	109
TABELA 37 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 19	110
TABELA 38 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 3 – EXPERIMENTO 19	112
TABELA 39 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 20	113
TABELA 40 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 3 – EXPERIMENTO 20	115
TABELA 41 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 21	117



TABELA 42 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 21.....	118
TABELA 43 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 22 .....	119
TABELA 44 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 22.....	121
TABELA 45 – COMPONENTES DOS VETORES PCOs PROPAGADOS EM CADA EXPERIMENTO .....	125
TABELA 46 – MÉDIAS E DESVIOS-PADRÃO DAS COMPONENTES DOS VETORES PCOs PROPAGADOS E PRÓPRIOS .....	126
TABELA 47 – RESULTADO PARA O TESTE K-S PARA AS COMPONENTES DO VETOR PCO PROPAGADO .....	126
TABELA 48 – RESULTADO PARA O TESTE $t$ PARA AS COMPONENTES DO VETOR PCO PROPAGADO .....	127

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – PRINCIPAIS FONTES DE ERROS NO POSICIONAMENTO ABSOLUTO GPS.....	34
QUADRO 2 – LINHAS DE BASE DOS PONTOS RELACIONADOS AOS 22 EXPERIMENTOS.....	56
QUADRO 3 – INFORMAÇÕES DAS CAMPANHAS DO MÊS MAIO DE 2011.....	59
QUADRO 4 – INFORMAÇÕES DA CAMPANHA DO MÊS DE AGOSTO DE 2011. ....	59
QUADRO 5 – INFORMAÇÕES DAS CAMPANHAS DO MÊS DE SETEMBRO DE 2011.....	59
QUADRO 6 – INFORMAÇÕES DA CAMPANHA DO MÊS DE OUTUBRO DE 2011.....	60
QUADRO 7 – INFORMAÇÕES DA CAMPANHA DO MÊS DE ABRIL DE 2012. ....	61
QUADRO 8 – CAMPANHAS CONSIDERADAS EM CADA EXPERIMENTO.....	61
QUADRO 9 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 1.....	63
QUADRO 10 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 2 ....	66
QUADRO 11 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 3 ....	69
QUADRO 12 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 4 ....	72
QUADRO 13 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 5 ....	74
QUADRO 14 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 6 ....	77
QUADRO 15 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 7 ....	79
QUADRO 16 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 8 ....	82
QUADRO 17 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 9 ....	85
QUADRO 18 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 10 ..	87
QUADRO 19 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 11 ..	90
QUADRO 20 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 12 ..	92
QUADRO 21 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 13 ..	95
QUADRO 22 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 14 ..	98
QUADRO 23 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 15	100
QUADRO 24 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 16	103
QUADRO 25 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 17	105
QUADRO 26 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 18	108
QUADRO 27 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 19	110
QUADRO 28 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 20	113
QUADRO 29 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 21	116
QUADRO 30 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 22	119

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>19</b>
2.1.1 Polarização das Ondas Planas	21
2.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ANTENAS	25
2.2.1 Padrão de Radiação	25
2.2.2 Diretividade	28
2.2.3 Eficiência da Antena	29
2.2.4 Ganho da Antena	29
2.3 CARACTERÍSTICAS DAS ANTENAS GNSS	30
2.3.1 Antenas do Tipo Microstrip Patch	32
2.4 ERROS SISTEMÁTICOS NAS OBSERVAÇÕES GPS	33
2.5 CENTRO DE FASE DA ANTENA	34
2.5.1 Variações do Centro de Fase da Antena	36
2.6 CALIBRAÇÃO DE ANTENAS	42
2.6.1 Calibração em ambientes controlados	43
2.6.2 Calibração Relativa de Antenas	43
2.6.3 Calibração Absoluta de Antenas	44
2.6.4 Calibração na BCAL/UFPR	44
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>47</b>
3.1 PROPAGAÇÃO DAS COMPONENTES DO VETOR PCO	49
3.2 DETERMINAÇÃO DAS PCV ASSOCIADAS AO PCO PROPAGADO	53
3.3 COMPARAÇÃO COM AS PCV CALCULADAS PELO PROGRAMA WASOFT	55
3.4 PONTOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS	55
3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS PELO PROGRAMA LEICA GEO OFFICE	56
<b>4 DADOS UTILIZADOS PELAS PROPAGAÇÕES</b>	<b>58</b>
<b>5 RESULTADOS</b>	<b>63</b>
5.1 EXPERIMENTO 1	63
5.2 EXPERIMENTO 2	66
5.3 EXPERIMENTO 3	68
5.4 EXPERIMENTO 4	71
5.5 EXPERIMENTO 5	74
5.6 EXPERIMENTO 6	76
5.7 EXPERIMENTO 7	79
5.8 EXPERIMENTO 8	82
5.9 EXPERIMENTO 9	84
5.10 EXPERIMENTO 10	87
5.11 EXPERIMENTO 11	90
5.12 EXPERIMENTO 12	92
5.13 EXPERIMENTO 13	95
5.14 EXPERIMENTO 14	97
5.15 EXPERIMENTO 15	100
5.16 EXPERIMENTO 16	102
5.17 EXPERIMENTO 17	105

5.18	EXPERIMENTO 18 .....	107
5.19	EXPERIMENTO 19 .....	110
5.20	EXPERIMENTO 20 .....	112
5.21	EXPERIMENTO 21 .....	116
5.22	EXPERIMENTO 22 .....	119
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E PERSPECTIVA DE TRABALHO FUTURO .....</b>	<b>128</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>130</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das aplicações dos sistemas de posicionamento por satélites é a localização de pontos sobre a superfície da Terra com a determinação de coordenadas tridimensionais com acurácia milimétrica. Para que tal qualidade no posicionamento possa ser atingida, é necessário o conhecimento e modelagem dos erros sistemáticos que afetam as medidas.

A acurácia nos resultados é degradada por algumas fontes de erros cujos efeitos necessitam ser tratados de maneira adequada para que o sistema desempenhe com máxima eficácia as suas funções.

As principais fontes de erros podem ser reunidas em três grupos:

- erros provenientes das posições dos satélites;
- erros associados à propagação do sinal;
- erros relacionados ao receptor.

Destacando o último grupo, os erros que dizem respeito à localização do centro de fase da antena têm caráter sistemático e torna-se imprescindível considerá-los quando a qualidade dos resultados necessita alcançar patamares milimétricos.

Nas aplicações geodésicas, é importante conhecer com a máxima exatidão possível a posição do centro de fase da antena do receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*), uma vez que a posição é estimada, justamente, onde se encontra a antena. O estudo das variações do centro de fase de uma antena GNSS é de fundamental relevância e vem sendo objeto de intensa pesquisa (GÖRRES et al., 2006a), (KRUEGER et al., 2007), (BILICH et al., 2012), (HUINCA et al., 2012), (EL-HATTAB, 2013).

O problema maior é que o centro de fase varia com a intensidade e direção (elevação sobretudo e azimuth) dos sinais e é diferente para cada uma das ondas portadoras (SEEBER, 2003), (MONICO, 2008).

O conhecimento completo do centro de fase da antena se dá mediante a determinação do PCO (*Phase Center Offset*) e das PCVs (*Phase Center Variations*). O PCO caracteriza-se como sendo um vetor que tem origem no ARP (*Antenna Reference Point*), um ponto materializado na antena, ao centro de fase

médio. No caso das PCVs, segundo Bartels (1997), expressam as alterações do estado da fase da onda portadora em dependência da direção do sinal incidente.

Os parâmetros do centro de fase da antena do receptor são obtidos mediante a condução do processo de calibração de antenas. Os valores determinados fazem com que os erros ocasionados pelas variações do centro de fase sejam minimizados quando utilizados no processamento de dados.

De maneira geral, a determinação dos parâmetros possui caráter empírico, o que torna imprescindível a aplicação dos métodos de calibração, que podem ser realizados em ambientes controlados ou em campo, com característica relativa ou absoluta. Neste sentido, destacam-se os trabalhos de Rothacher et al. (1995) que utilizam funções harmônicas esféricas na modelagem das variações do centro de fase de antenas GPS, Wübbena et al. (2000) que apresentam um método de calibração absoluta automatizada através de movimentos altamente acurados de um robô e Zeimetz e Kuhlmann (2008) que analisam a calibração absoluta em ambientes controlados. No Brasil, os trabalhos de Freiburger Junior (2007) e Huinca (2009) que tratam da instalação e utilização da primeira base de calibração de antenas GNSS do Brasil – BCAL/UFPR – (*Base de Calibração da Universidade Federal do Paraná*) são referências nos processos de calibração de antenas GNSS.

Nesta pesquisa, propõe-se que os parâmetros do centro de fase de uma antena GPS sejam determinados por propagação utilizando integração numérica. As equações diferenciais são resolvidas pelo integrador numérico Runge-Kutta 7(8) com coeficientes de Fehlberg envolvendo as componentes do vetor PCO, consideradas como condições iniciais, e as respectivas taxas de variação temporal. Para isso, utilizam-se, os parâmetros próprios do centro de fase da antena fornecidos por campanhas de calibração em que o programa WaSoft/Kalib é empregado.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Devido a forte correlação entre os parâmetros PCOs das antenas dos satélites GPS na direção radial da Terra (*z-offset*) e a escala do sistema de

referência terrestre fez com que a mudança ocasionada pela adoção do ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) 2008 frente ao ITRF 2005 provocasse uma diferença na escala que não poderia ser ignorada. Para produzir uma atualização nos conjuntos de *z-offset* das antenas dos satélites, incluindo os lançados entre 2006 e 2010, foram usadas as soluções semanais da primeira campanha de reprocessamento do IGS (*International GNSS Service*) (Schmid, 2011).

Para conseguir a consistência com a escala utilizada pelo ITRF 2008 o IGS começou a utilizar os parâmetros absolutos para as antenas dos satélites e receptores, substituindo os parâmetros relativos aplicados até então.

Em observações GNSS empregadas em tarefas que necessitam de alta acurácia é necessário que os erros decorrentes da variação do centro de fase da antena do receptor sejam modelados. A modelagem destes erros depende do conhecimento dos parâmetros associados à localização do centro de fase da antena, PCO e PCV, os quais são determinados mediante procedimentos de calibração.

Os parâmetros determinados pelos métodos de calibração resultam em valores que dependem de características próprias da antena. Assim, antenas do mesmo modelo apresentam valores diferentes para os parâmetros vinculados ao centro de fase. Há também diferenças quando comparam-se os parâmetros próprios do centro de fase das antenas com parâmetros fornecidos pelos fabricantes.

Os trabalhos de Menge et al. (1998), Krueger et al. (2007) e Huinca et al. (2012) mostram a importância da execução dos procedimentos de calibração das antenas com o objetivo de obtenção dos parâmetros próprios precedendo à realização de tarefas que exijam posicionamento acurado.

A aplicação dos métodos de calibração de antenas exige o emprego de equipamentos específicos e locais adequados durante o intervalo de tempo em que os procedimentos são realizados. Assim, o usuário que necessita levar em consideração os parâmetros próprios do centro de fase da antena deve executar o processo de calibração ou enviar a antena para ser calibrada em instituições que realizam a calibração.

Diante de ocasiões em que os procedimentos de calibração não são disponíveis, torna-se importante utilizar uma alternativa para estimar os parâmetros

próprios do centro de fase da antena. Além de se apresentar como mais uma opção à obtenção dos parâmetros PCO e PCV a partir de condições iniciais, a pesquisa aqui relatada ajuda a descrever o comportamento do centro de fase de antenas de receptores GPS.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia para a determinação dos parâmetros do centro de fase, PCO e PCV, de antenas GNSS através de integração numérica utilizando como condições iniciais dados do programa WaSoft/Kalib.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar a taxa de variação temporal das componentes do vetor PCO a partir de arquivos de parâmetros próprios de calibração.
- Determinar o valor propagado das componentes do vetor PCO para uma data específica utilizando integração numérica.
- Determinar as PCV associadas ao vetor PCO propagado.
- Comparar as PCV, relativas ao PCO propagado, com as PCV determinadas pelo programa WaSoft/Kalib.
- Comparar as coordenadas obtidas pelo posicionamento relativo estático utilizando os parâmetros determinados através da metodologia proposta com as coordenadas obtidas utilizando os parâmetros próprios de calibração determinados pelo programa WaSoft/Kalib, parâmetros estabelecidos pelo NGS e sem aplicação de parâmetros PCOs e PCVs .



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

As equações de Maxwell, publicadas na segunda metade do século XIX, descrevem o comportamento de campos eletromagnéticos e apresentam como um de seus aspectos principais as equações de propagação das ondas eletromagnéticas em um meio linear cujas soluções dizem respeito ao transporte de energia entre pontos no espaço.

Considerando um meio não condutor descrito por uma permeabilidade e susceptibilidade espacialmente constantes, as equações de Maxwell, para um meio infinito e com ausência de cargas, podem ser escritas como

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \mathbf{E} &= 0; & \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0; \\ \nabla \times \mathbf{E} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} &= 0; & \nabla \times \mathbf{B} - \frac{\mu\epsilon}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} &= 0, \end{aligned} \quad (2.1)$$

onde  $\nabla$  é o operador nabla<sup>1</sup>, ( $\mathbf{E}$ ) é vetor<sup>2</sup> campo elétrico, ( $\mathbf{B}$ ) é o vetor campo magnético,  $\epsilon$  é a permissividade do meio,  $\mu$  é a permeabilidade magnética do meio,  $c$  é a velocidade da luz no vácuo e  $t$  representa o tempo.

Combinando as equações (2.1) é possível deduzir as equações de onda para campo elétrico, equação (2.2), e campo magnético, equação (2.3):

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \epsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0; \quad (2.2)$$

$$\nabla^2 \mathbf{B} - \epsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} = 0, \quad (2.3)$$

---

<sup>1</sup> Em coordenadas cartesianas:  $\nabla = \hat{x} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{z} \frac{\partial}{\partial z}$

<sup>2</sup> Neste trabalho, as grandezas vetoriais são representadas em negrito.

nas quais  $\nabla^2$  é o operador Laplaciano<sup>3</sup>.

As equações de onda regem o campo eletromagnético num meio linear, homogêneo, no qual a densidade de carga é nula. Ainda que as equações de onda sejam uma consequência das equações de Maxwell, a recíproca não se verifica e, portanto, as soluções das equações de ondas devem satisfazer também às equações de Maxwell (REITZ et al., 1988).

Considerando ondas caracterizadas por uma única frequência, ondas monocromáticas, uma maneira seria determinar uma solução para  $(\mathbf{E})$  e posteriormente para  $(\mathbf{B})$ , já que ambos estão relacionados pelas equações (2.1) .

Admite-se que a evolução temporal do campo elétrico seja

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}(\mathbf{r})e^{-i\omega t}. \quad (2.4)$$

Substituindo a equação (2.4) na equação (2.2) e considerando como meio o espaço vazio, ou seja,  $\epsilon = \epsilon_0$  e  $\mu = \mu_0$ , chega-se a

$$\nabla^2 \mathbf{E} + (\omega/c)^2 \mathbf{E} = 0, \quad (2.5)$$

em que  $\omega = 2\pi f$ , sendo  $f$  a frequência da onda, e  $\epsilon_0\mu_0 = 1/c^2$ .

A equação (2.5) é conhecida como equação de Helmholtz cujas soluções que apresentam tratamento mais fácil são chamadas de soluções da onda plana. Portanto, uma onda plana se propagando na direção do vetor unitário  $(\mathbf{u})$  é descrita por

$$e^{-i(\omega t - \kappa \mathbf{u} \cdot \mathbf{r})}. \quad (2.6)$$

Definindo-se

$$\mathbf{\kappa} = \kappa \mathbf{u} \quad (2.7)$$

---

<sup>3</sup> Em coordenadas cartesianas:  $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$

que é denominado de vetor de propagação, pode-se explicitar a dependência temporal e espacial da onda plana da forma

$$e^{-i(\omega t - \kappa \cdot \mathbf{r})}. \quad (2.8)$$

A solução, mais simples, para a equação (2.5) seria

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_0 e^{-i(\omega t - \kappa \cdot \mathbf{r})}, \quad (2.9)$$

em que  $\mathbf{E}_0$  representa uma amplitude vetorial constante e complexa da onda plana. Maiores esclarecimentos acerca da abordagem de características físicas e matemáticas envolvidas nesta seção podem ser encontrados em textos referentes aos conceitos básicos da Teoria Eletromagnética e Óptica. Podem ser citados: Reitz et al. (1988) e Machado (2006).

### 2.1.1 Polarização das Ondas Planas

Uma onda eletromagnética plana se propagando na direção do eixo Z de um sistema dextrógiro, FIGURA 1, apresentará os vetores campo elétrico,  $\mathbf{E}$ , e campo magnético,  $\mathbf{B}$ , contidos no plano X-Y.

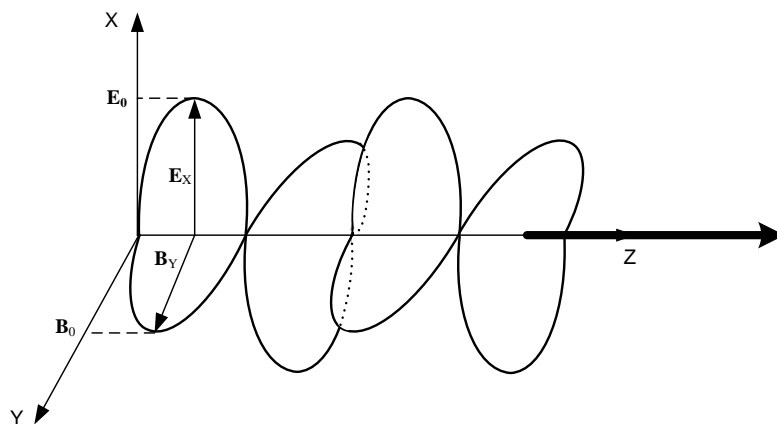


FIGURA 1 – ONDA ELETROMAGNÉTICA PLANA SE PROPAGANDO NA DIREÇÃO DO EIXO 'Z'  
FONTE: ADAPTADO HECHT (1990)

As duas grandezas vetoriais importantes que especificam o modo de propagação de uma onda eletromagnética são o vetor de propagação  $\kappa$  e o vetor de um dos campos (elétrico ou magnético) sendo comumente usado o vetor do campo elétrico  $\mathbf{E}$ . Uma onda eletromagnética plana se propagando na direção do eixo Z ( $\kappa = \kappa \mathbf{z}$ ) com campo elétrico oscilando no plano X-Y pode ser representada por uma superposição de duas ondas, uma em que o campo elétrico aponta na direção  $\mathbf{x}$  e outra em que o campo elétrico aponta na direção  $\mathbf{y}$ , da seguinte forma:

$$\mathbf{E} = E_{0x} \cos(\kappa z - \omega t) \mathbf{x} + E_{0y} \cos(\kappa z - \omega t + \phi) \mathbf{y}. \quad (2.10)$$

A equação (2.10) será uma solução válida das equações de Maxwell não importando qual seja a diferença de fase entre as componentes. Se não existir diferença de fase entre as oscilações das componentes do campo elétrico, ou seja,  $\phi = 0$  (ou um múltiplo de  $\pi$  radianos), o campo elétrico aponta sempre na mesma direção. Portanto, diz-se que a onda eletromagnética é linearmente polarizada e a direção de polarização é a igual à direção de oscilação do campo elétrico.

Assim, o campo elétrico resultante pode ser representado por:

$$\mathbf{E} = (E_{0x} \mathbf{x} + E_{0y} \mathbf{y}) \cos(\kappa z - \omega t). \quad (2.11)$$

A equação (2.11) descreve um vetor cuja direção é fixa no plano X-Y mas que apresenta módulo que varia de forma oscilatória. A onda eletromagnética pode se apresentar de forma fixa no plano X-Z e também no plano Y-Z, como indicam as FIGURAS 2(a) e 2(b), respectivamente.

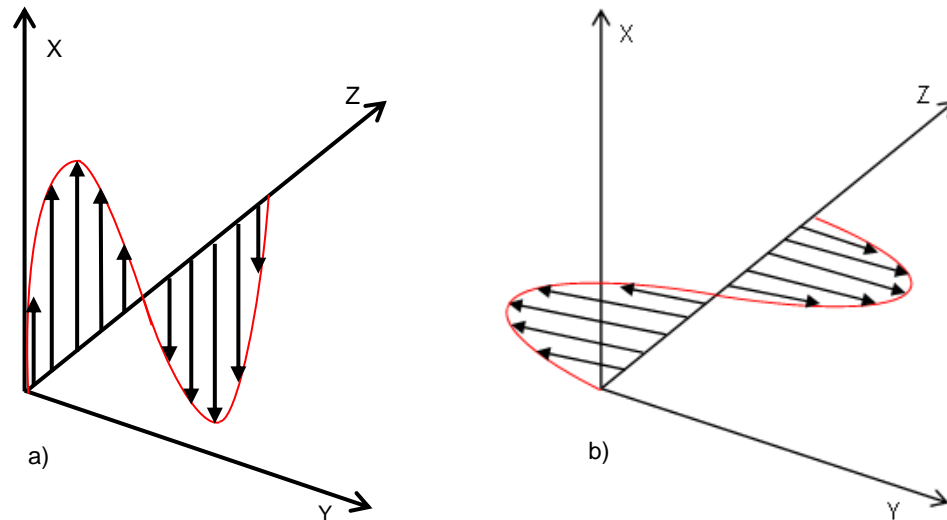


FIGURA 2 – POLARIZAÇÃO LINEAR DA ONDA ELETROMAGNÉTICA PLANA: (a) POLARIZAÇÃO SOBRE O EIXO 'X'; (b) POLARIZAÇÃO SOBRE O EIXO 'Y'.  
FONTE: ADAPTADO HECHT (1990).

Se a diferença de fase entre as componentes for de  $\phi = \pm \pi/2$  radianos e, além disso as amplitudes forem iguais a  $E_{0x} = E_{0y} = E_0/\sqrt{2}$  a equação (2.10) pode ser reescrita como:

$$\mathbf{E} = (E_0/\sqrt{2})(\cos(kz - \omega t) \mathbf{x} \pm \sin(kz - \omega t) \mathbf{y}) \quad (2.12)$$

O vetor apresenta módulo constante, e o ângulo formado entre a sua direção e um dos eixos de coordenada com o tempo de maneira linear. Assim, o vetor campo elétrico gira no plano X-Y e a sua extremidade descreve uma trajetória circular enquanto a onda é propagada. Tal comportamento faz com que a onda apresente uma polarização circular e seja classificada como circularmente polarizada. A polarização circular pode ser caracterizada como RHCP (*Right Hand Circular Polarisation*), FIGURA 3(a) – ou como LHCP (*Left Hand Circular Polarisation*), FIGURA 3(b).

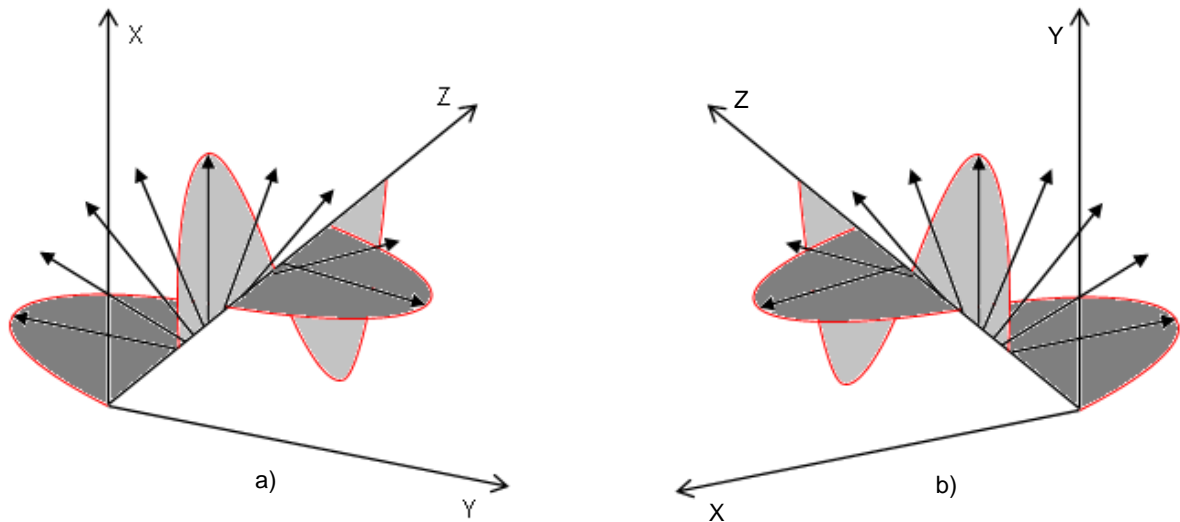


FIGURA 3 – POLARIZAÇÃO CIRCULAR DA ONDA ELETROMAGNÉTICA PLANA: (a) RHCP;  
(b) LHCP

FONTE: ADAPTADO HECHT (1990)

Se  $\mathbf{E}$  apresenta as componentes transversais com amplitudes diferentes ou uma defasagem entre elas diferente de  $\pm \pi/2$  radianos, a onda plana possui uma polarização elíptica. Portanto,  $\mathbf{E}$  descreve uma elipse ao redor do eixo de propagação, FIGURA 4.

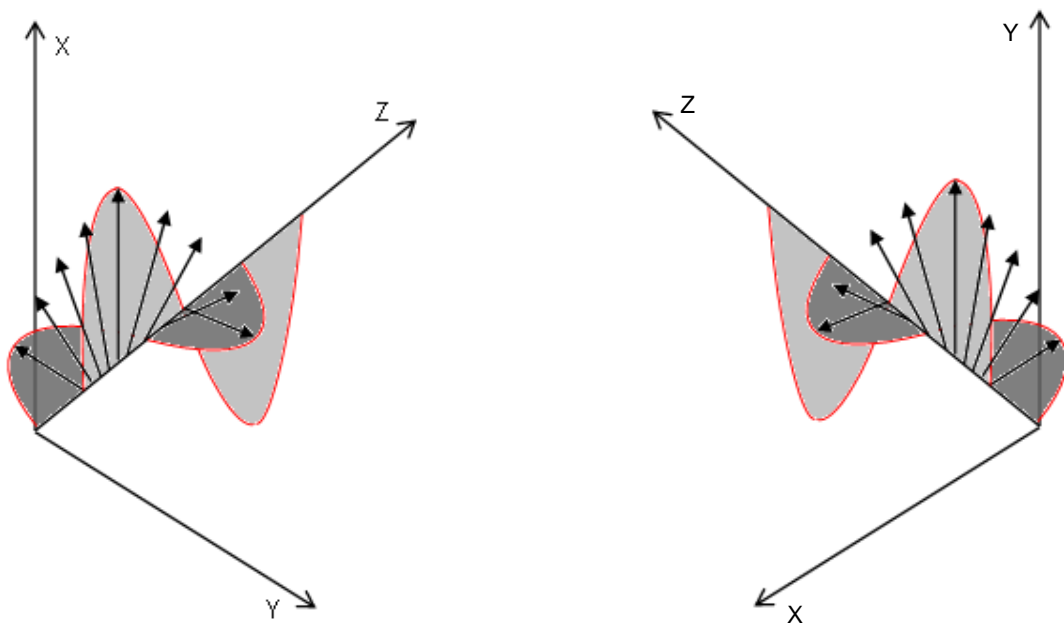


FIGURA 4 – POLARIZAÇÃO ELÍPTICA DA ONDA PLANA: (a) POLARIZAÇÃO ELÍPTICA À DIREITA,  
(b) POLARIZAÇÃO ELÍPTICA À ESQUERDA.

FONTE: ADAPTADO HECHT (1990)

## 2.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ANTENAS

A antena é o componente de um circuito elétrico que se caracteriza por ser o primeiro elemento a entrar em contato com a onda eletromagnética de espaço livre, no caso de recepção, e o último elemento a ser deixado pela onda em casos de emissão. É responsável por converter a energia eletromagnética do circuito a que pertence na energia de uma onda de espaço livre e vice-versa. (MARKOV, 1965; BALANIS, 1997; KRAUS e MARHEFKA, 2002). O IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) define em seu documento – *Standard Definitions of Terms for Antennas* (IEEE Std. 145-1983) – uma antena como sendo um meio pelo qual uma onda eletromagnética pode ser radiada para o espaço livre ou captada e transferida para uma linha de transmissão.

O desempenho de sistemas baseados na emissão e recepção de ondas eletromagnéticas também depende de parâmetros relacionados às antenas. Alguns fatores são tidos como principais, pois têm papel fundamental na viabilidade da transmissão/recepção: Diagrama de Radiação; Diretividade da radiação; Ganho e Eficiência.

### 2.2.1 Padrão de Radiação

Segundo o IEEE, o padrão de radiação, padrão da antena ou ainda diagrama de radiação de uma antena é definido como uma função matemática ou uma representação gráfica das propriedades de radiação da antena como uma função das coordenadas espaciais. Em geral, o padrão de radiação é determinado na região de campo distante<sup>4</sup> – *far-field zone* – e representado em função de coordenadas direcionais. As propriedades de radiação englobam a densidade do

---

<sup>4</sup> O IEEE define região de campo distante como a região do campo da antena em que a distribuição angular do campo é essencialmente independente da distância a um ponto na antena.

fluxo de potência, intensidade de radiação, do campo elétrico ou magnético, diretividade, fase ou polarização.

A distribuição da energia radiada pela antena pode ser graficamente representada por diagramas tridimensionais ou bidimensionais em função dos ângulos  $\theta$  e  $\phi$  ao longo de uma superfície ou caminho de raio constante  $r$ . A FIGURA 5 ilustra o diagrama de radiação tridimensional para uma antena direcional.

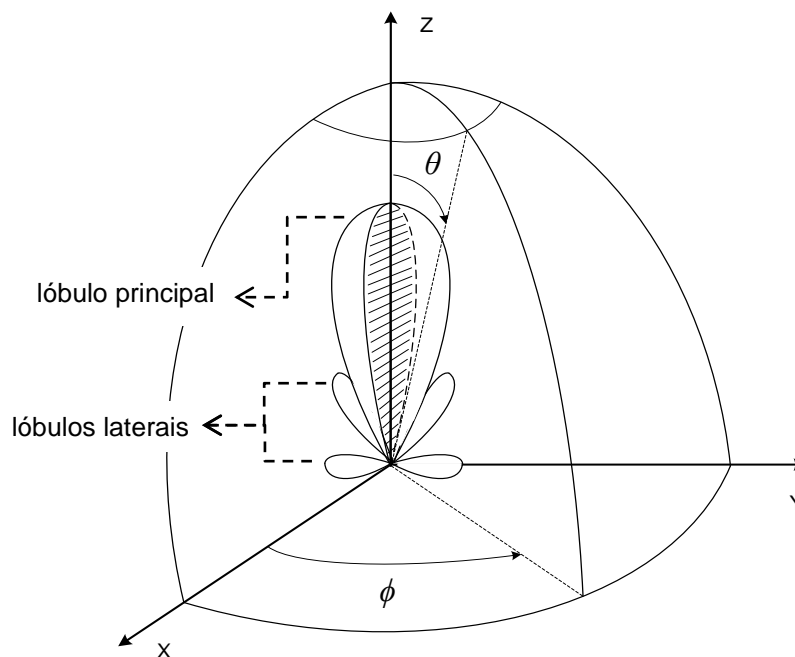


FIGURA 5 – EXEMPLO DE DIAGRAMA DE RADIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DE UMA ANTENA DIRECIONAL.

FONTE: ADAPTADO KRAUS (1992)

Os diagramas fornecem informações sobre o campo elétrico/magnético ou sobre a densidade de potência, apresentam-se normalizados em relação ao respectivo valor máximo. Normalmente, os diagramas que descrevem a densidade de potência, também chamados de padrões de potência – *power patterns* – apresentam-se em escala logarítmica, mais precisamente em decibels (dB).

Diagramas em duas dimensões também podem ser utilizados. A FIGURA 6 ilustra o diagrama de radiação em, dB, considerando apenas o padrão de potência no plano X-Z da FIGURA 5.



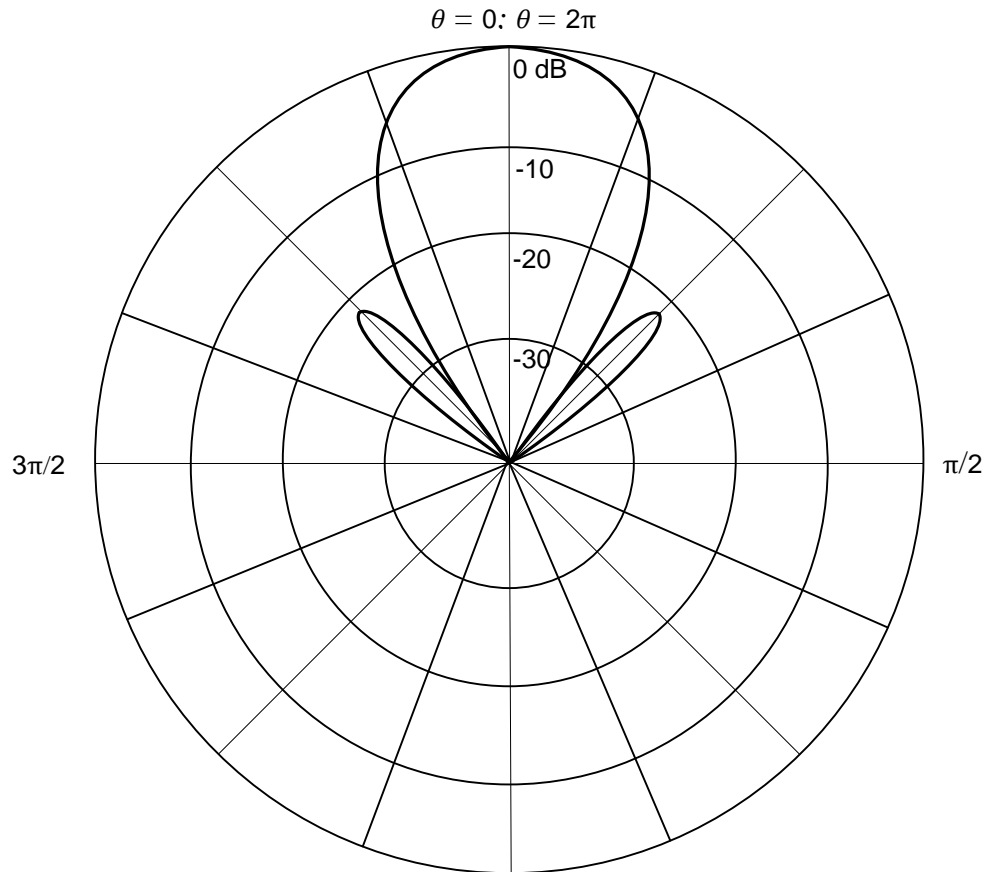


FIGURA 6 – EXEMPLO DE DIAGRAMA DE RADIAÇÃO, EM dB, EM FUNÇÃO DA DIREÇÃO ANGULAR  $\theta$  PARA UMA ANTENA DIRECIONAL.  
FONTE: ADAPTADO KRAUS (1992)

Pelas características ligadas à radiação de energia, as antenas podem ser classificadas em Isotrópicas, Direcionais e Omnidirecionais.

Uma antena isotrópica é o caso hipotético em que a radiação seria emitida de maneira uniforme em todas as direções sem haver perdas neste processo.

Para as antenas direcionais as propriedades de emissão e recepção de ondas eletromagnéticas são mais acentuadas em algumas direções do que em outras, como nos casos das FIGURAS 5 e 6.

As antenas omnidirecionais são um tipo especial de antena direcional. Segundo os padrões IEEE Std. 145-1983, uma antena omnidirecional, ou padrão omnidirecional, consiste em um padrão essencialmente não direcional em determinado plano e um padrão direcional em qualquer outro plano ortogonal.

A FIGURA 7 representa o padrão de radiação de uma antena omnidirecional. É possível perceber que o padrão sobre o plano X-Y (plano azimutal) é o mesmo em todas as direções, ou seja, independe do valor de  $\phi$ . No entanto, para um plano ortogonal ao plano X-Y, o padrão se caracteriza por apresentar dependência com a direção determinada pelo ângulo  $\theta$ .

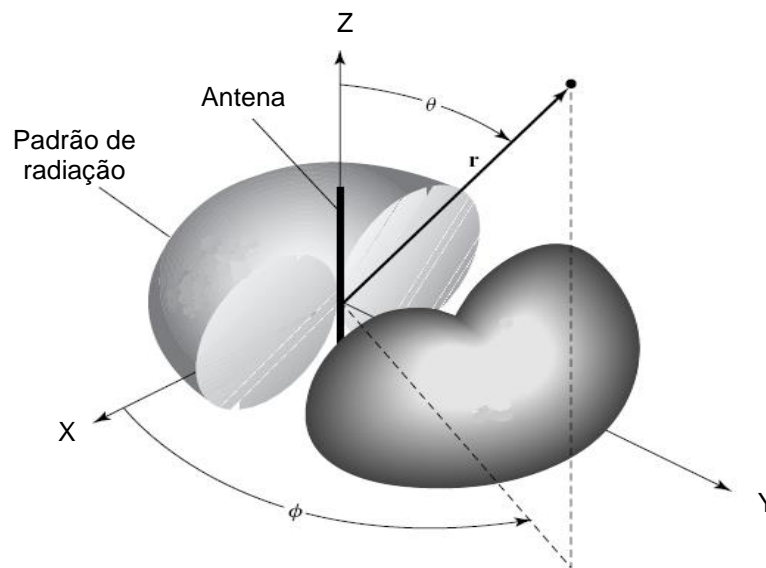


FIGURA 7 – EXEMPLO DE PADRÃO DE RADIAÇÃO OMNIDIRECIONAL.  
FONTE: ADAPTADO BALANIS (2005)

### 2.2.2 Diretividade

Para os padrões IEEE Std. 145-1983, a diretividade de uma antena é definida como a razão entre a intensidade de radiação em uma dada direção da antena e a média da intensidade de radiação sobre todas as direções ao redor da antena. A radiação média é obtida dividindo-se a potência total radiada pela antena por  $4\pi$ . De maneira mais simples, a diretividade de uma fonte não isotrópica é igual à razão de sua intensidade de radiação em uma direção pela o que seria a intensidade de radiação sendo a fonte isotrópica (KRAUS, 1992; BALANIS, 2005).

Matematicamente:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}}, \quad (2.10)$$

onde  $U$  = intensidade de radiação,  $U_0$  = intensidade de radiação sendo a fonte isotrópica e  $P_{rad}$  = potência total.

### 2.2.3 Eficiência da Antena

A eficiência total de uma antena,  $\eta$ , é um valor estabelecido levando-se em conta as perdas por efeito joule em seus componentes. As perdas devidas aos materiais condutores e dielétricos implicam em uma eficiência representada por  $\eta_{cd}$ ; as perdas resultantes da incompatibilidade entre a linha de transmissão e a antena implicam em uma eficiência dada por  $\eta_r$ . Portanto,

$$\eta = \eta_{cd} + \eta_r, \quad (2.11)$$

que é uma grandeza adimensional e assume valores no intervalo  $[0, 1]$ .

### 2.2.4 Ganho da Antena

Segundo os padrões IEEE Std. 145-1983, as perdas pela incompatibilidade entre a linha de transmissão e a antena não são levadas em conta para o cálculo do ganho da antena, importando apenas as perdas que implicam na eficiência representada por  $\eta_{cd}$ . De forma que a potência recebida pela antena,  $P_{rec}$ , e a potência radiada pela por ela,  $P_{rad}$ , sejam relacionadas como:

$$P_{rad} = \eta_{cd} P_{rec}. \quad (2.12)$$

Os padrões IEEE Std. 145-1983 ainda definem ganho como a razão entre a intensidade de radiação numa determinada direção e a intensidade de radiação que seria obtida se a potência recebida pela antena fosse radiada isotropicamente, a qual é calculada dividindo-se a potência recebida,  $P_{rec}$ , por  $4\pi$ . Portanto,

$$G = \frac{4\pi U}{P_{rec}}. \quad (2.13)$$

Utilizando-se as equações (2.12) e (2.13), pode-se escrever ganho direcional de uma antena como:

$$G = \eta_{cd} D, \quad (2.14)$$

onde  $\eta_{cd}$  é reconhecido como eficiência de radiação da antena.

É usual utilizar a escala logarítmica para representar valores relacionados à diretividade e ganho das antenas. Portanto, seus valores são, comumente, declarados em dB.

Mais detalhes sobre Teoria de Antenas fogem ao objetivo deste trabalho. Deste modo, recomenda-se a consulta de textos especializados como Markov (1965), Kraus (1992), Kraus e Marhefka (2002), Balanis (2005) e Orfanidis (2008).

## 2.3 CARACTERÍSTICAS DAS ANTENAS GNSS

As antenas empregadas nos receptores GPS são dispositivos preparados para a recepção de ondas eletromagnéticas de frequências iguais a 1575,42 MHz (onda portadora L1), 1227,6 MHz (onda portadora L2) e 1176,45 MHz (onda portadora L5). Desta forma, caracterizam-se por operarem na faixa das micro-ondas do espectro eletromagnético, mais precisamente na banda L (WAKKER et al., 1987; PINKER et al., 1998).

Drane e Rizos (1998) trazem alguns fatores que devem ser levados em conta na medida em que o design da antena é considerado:

- Capacidade para recepção de sinais muito fracos;
- Capacidade de operar apenas na frequência L1 ou em ambas as frequências L1 e L2;
- Recepção de sinais com a polarização RHCP, circularmente polarizada à direita;
- O padrão de ganho da antena deve aumentar a habilidade da seção de rádio frequência do sistema de discriminar entre sinais provenientes de multicaminho (tais como sinais LHCP, circularmente polarizado à esquerda);
- Possuir centro de fase estável;
- Baixo custo;
- Confiabilidade.

Em Seeber (2003), encontram-se relacionados os tipos de antenas usadas em receptores GNSS, FIGURA 8.

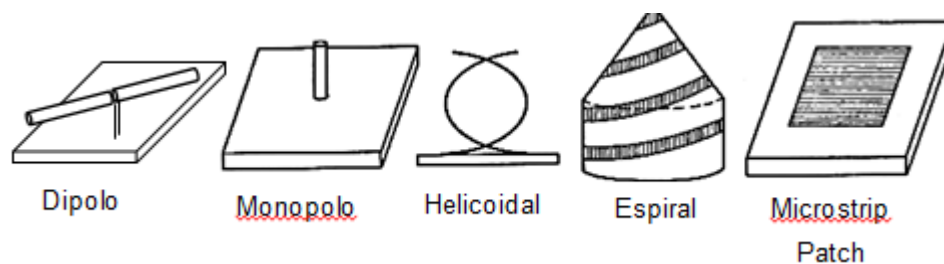


FIGURA 8 – ANTENAS UTILIZADAS EM RECEPTORES GNSS  
FONTE: ADAPTADO SEEBER (2003).

No ano de 2009, a empresa *Leica Geosystems AG*, com sede na Suíça, apresentou a antena LEICA AR25, também conhecida como Choke Ring '3D', FIGURA 9.



FIGURA 9 – ANTENA LEICA AR25 CHOKE RING '3D'  
FONTE: LEICA (2009).

A antena LEICA AR25 merece destaque por apresentar características, até então, não verificadas nas antenas de terminais GNSS. Algumas podem ser citadas:

- Melhor desempenho no rastreamento de satélites em baixas elevações;
- Melhor desempenho na redução dos efeitos de multicaminho;
- Melhor estabilidade do centro de fase;
- Capacidade de operar na recepção do sinal L5 do GPS, bem como na recepção dos sinais dos sistemas Galileo e Compass.

Uma comparação mais completa entre a antena Choke Ring '3D' e a Choke Ring '2D' pode ser encontrada em Leica AR25 (2009).

### 2.3.1 Antenas do Tipo Microstrip Patch

Devido à polarização circular dos sinais GNSS, algumas antenas mostram-se mais adequadas à recepção da energia eletromagnética: antenas helicoidais, antenas espirais e antenas microstrip patch.

Dedica-se uma atenção especial às antenas do tipo microstrip patch. Drane e Rizos (1998) comentam que este tipo de antena é quase que universalmente usado para aplicações de navegação por serem robustas, de construção simples, por apresentarem centro de fase estável, resistentes ao multicaminho e por possuírem um bom padrão de ganho.

Balanis (1997) comenta sobre o emprego da antena na maioria dos receptores GPS e que se tornaram populares nos anos 70, inicialmente em atividades espaciais para depois avançarem para as aplicações comerciais.

As antenas microstrip são os tipos mais populares de antena GNSS usados em uma ampla variedade de sistemas civis e militares. Características como perfil baixo, tamanho compacto, capacidade de combinar sua forma com a da superfície sobre a qual é assentada, fácil aquisição de ondas com polarização circular à direita (RHCP) e baixo custo de produção rendem às essas antenas vantagens únicas, difíceis de serem relacionadas com aplicações GNSS que utilizam qualquer outro design de antena (RAO et al., 2013).

Uma antena microstrip é formada por uma placa metálica (*patch*), de formato específico, inserida sobre um substrato dielétrico, de dimensões maiores que a porção metálica. As duas partes são então colocadas em cima de outra base metálica (*ground plane*), como mostra a FIGURA 10.

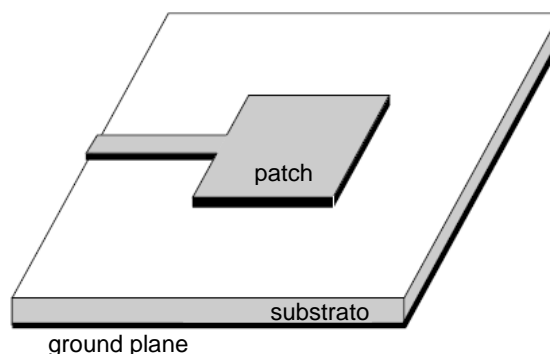


FIGURA 10 – MODELO DE ANTENA MICROSTRIP PATCH RETANGULAR  
FONTE: ADAPTADO BALANIS (2005)

## 2.4 ERROS SISTEMÁTICOS NAS OBSERVAÇÕES GPS

A acurácia das observações GPS está relacionada à minimização ou eliminação dos erros sistemáticos que degradam a qualidade das medidas. Diferentes tipos de erros afetam o posicionamento GPS de diferentes maneiras (BEUTLER et al., 1989; CHEN e CHRZANOWSKI, 1990).

Os erros presentes nas medidas são provenientes de diversas fontes e podem ser classificados, fundamentalmente, em quatro categorias, ver QUADRO 1:

Erros relativos à rede de posicionamento
Erros relativos ao satélite: orbitais e do relógio.
Erros relativos à propagação do sinal: ionosfera, troposfera e multicaminho.
Erros relativos ao receptor: ruídos, relógio e centro de fase da antena.

QUADRO 1 – PRINCIPAIS FONTES DE ERROS NO POSICIONAMENTO ABSOLUTO GPS  
FONTE: ADAPTADO SEEBER (1993)

Em Seeber (2000), nota-se que as mesmas fontes de erros influenciam o posicionamento relativo, porém, seus efeitos sobre as medidas possuem, em geral, menor ordem de grandeza.

Levando-se em conta a determinação de coordenadas geodésicas acuradas de um ponto, desprezar os valores do centro de fase das antenas GNSS no processamento das observações pode implicar em erros de até 10 cm na componente Vertical (ROTHACHER e MADER, 1996; MADER, 1999).

## 2.5 CENTRO DE FASE DA ANTENA

Se a antena for considerada como uma fonte pontual emissora de sinais, as frentes de onda que dela emanam teriam, na região de campo distante, a forma de esferas concêntricas ao ponto tomado como fonte, tal ponto é chamado de centro de fase. Cada esfera consiste em elementos de campo possuidores de mesma fase, portanto, são consideradas superfícies equifases.(BORN e WOLF, 1980; HECHT, 1990).

Segundo IEEE Std. 145-1983, o centro de fase de uma antena é a localização de um ponto associado a uma antena de tal forma que, se for tomado como centro de uma esfera da qual o raio se estende ao campo distante, a fase de um componente do campo sobre a superfície da esfera de radiação é



essencialmente constante, pelo menos sobre a porção da superfície onde a radiação é significativa.

No entanto, para uma antena real, as dimensões não são zero e, desta forma, as superfícies equifases deixariam de ser esféricas (DE JONG, 1982).

Pelo teorema da reciprocidade, numa situação de recepção a antena apresenta características idênticas às apresentadas por ela numa situação de emissão (MARKOV, 1965; KRAUS, 1992; BALANIS, 2005). Desta forma, o centro de fase de uma antena, empregada na recepção de energia pode ser entendido como o ponto da antena em que o sinal é coletado.

Na prática, nenhuma antena é uma fonte pontual com frentes de ondas esféricas ideais. Qualquer fonte de radiação de tamanho finito irá gerar contornos equifase que não serão totalmente esféricos mas sim distorcidos. Neste caso, cabe analisar pequenas porções esféricas da frente de onda com um correspondente centro para cada porção esférica. Um único centro de fase válido para todos os valores de ângulos de elevação e azimutes não existe. O centro de fase, então, não é constante, mas dependente do ângulo de observação, FIGURA 11. Portanto, a definição teórica de centro de fase deve ser transformada em uma definição de caráter prático (BARTELS, 1997).

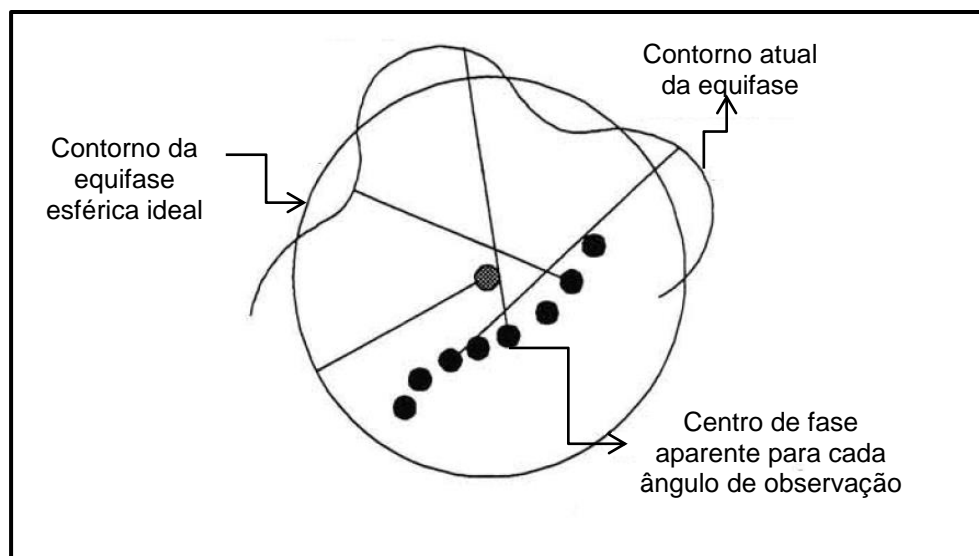


FIGURA 11 – CENTRO DE FASE DA ANTENA DEPENDENTE DO ÂNGULO DE OBSERVAÇÃO  
 FONTE: ADAPTADO BARTELS (1997)

Em geral, quando se trata de design de antenas, existe a preocupação apenas com o padrão escalar de radiação, a distribuição espacial de intensidade do

campo. Entretanto, quando existe a finalidade de se utilizar a antena em levantamento por satélite e em outras medidas de precisão, o centro de fase da antena e suas características necessitam ser levadas em conta, uma vez que a fase do sinal recebido é usada para obter uma maior precisão da posição. (CHEN et al., 2012).

### 2.5.1 Variações do Centro de Fase da Antena

Da mesma forma em que não existe um único centro de fase válido para todos os ângulos de elevação e de azimute a partir de uma antena emissora, pelo teorema da reciprocidade, não há também um único centro de fase válido para todas as direções, no caso de uma antena que atua na recepção de sinais. Desta forma, há uma mudança de posição do ponto em que o sinal eletromagnético é coletado pela antena.

O posicionamento em Navegação e em Geodésia refere-se ao centro de fase elétrico da antena, o qual varia com a intensidade e direção dos sinais incidentes (SEEBER, 1993).

Para a descrição completa do centro de fase da antena deve-se, portanto, considerar que a incidência de sinais provenientes de diversas direções definem um centro de fase elétrico médio da antena, ou, simplesmente, centro de fase médio (CFM). De maneira equivalente, define-se um centro de fase elétrico, ou, apenas, centro de fase (CF) que dependerá da direção de incidência de cada sinal.

Tanto o CFM quanto o CF precisam ser referenciados ao chamado ponto de referência da antena ou ARP (*Antenna Reference Point*). O IGS (*International GNSS Service*) define o ARP como sendo o ponto físico formado pela intersecção do centro da rosca de centragem, que se localiza na superfície mais inferior da antena, com o eixo de simetria do equipamento, FIGURA 12. O ARP é a origem do sistema de referência da antena e relaciona-se com os parâmetros que estabelecem o centro de fase.

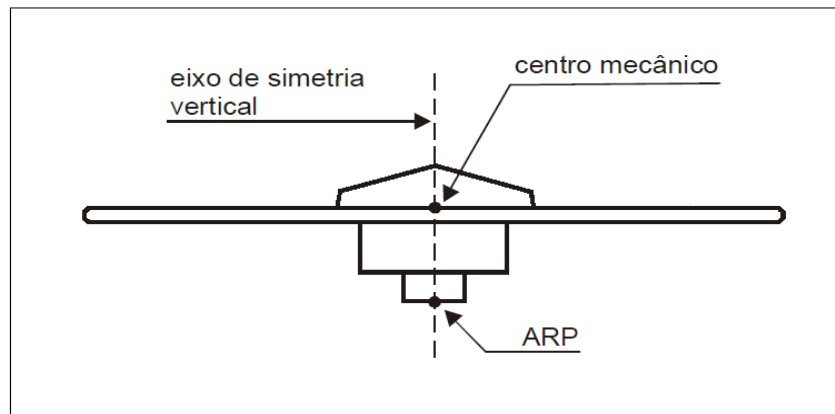


FIGURA 12 – LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE REFERÊNCIA DA ANTENA – ARP  
 FONTE: ADAPTADO FREIBERGER JUNIOR (2007)

A caracterização da posição do CFM é definida pelo vetor PCO (*Phase Center Offset*), a partir do ARP. Além disso, para cada direção, existirá um centro de fase instantâneo CF, a distância entre o CFM e o CF, em uma determinada direção, caracteriza a variação do centro de fase, PCV (*Phase Center Variation*), direcional, com dependência do azimute ( $\alpha$ ) e do ângulo zenital ( $\theta$ ) do sinal incidente, PCV ( $\alpha, \theta$ ), FIGURA 13.

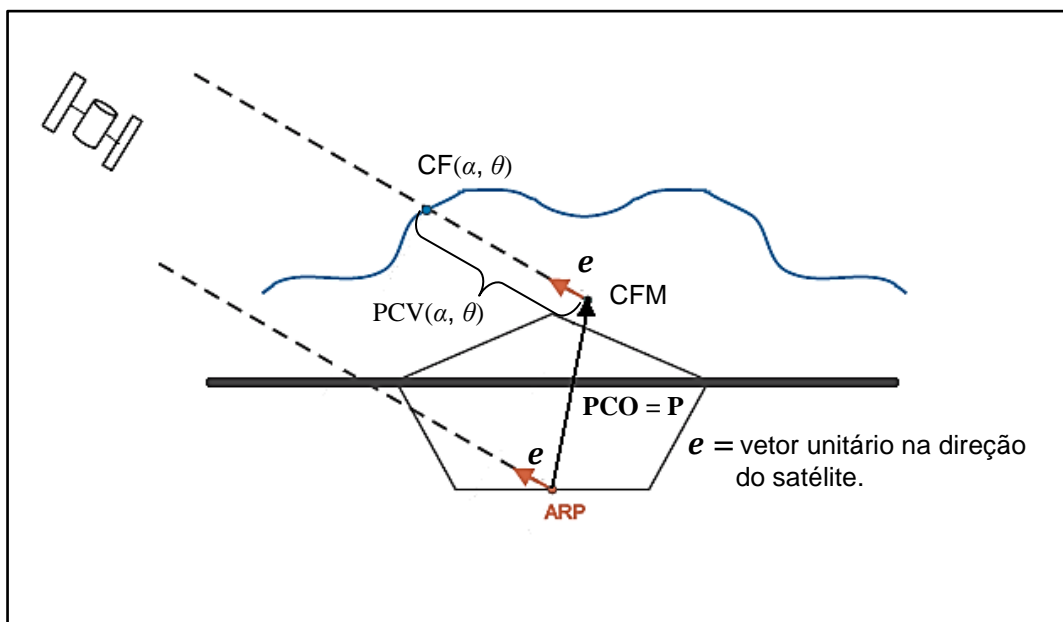


FIGURA 13 – IDENTIFICAÇÃO DO CF, CFM, VETOR PCO E DAS PCV  
 FONTE: ADAPTADO MENGE (2003)

As coordenadas do vetor PCO ( $P$ ) são dadas no sistema de referência da antena, FIGURA 14.

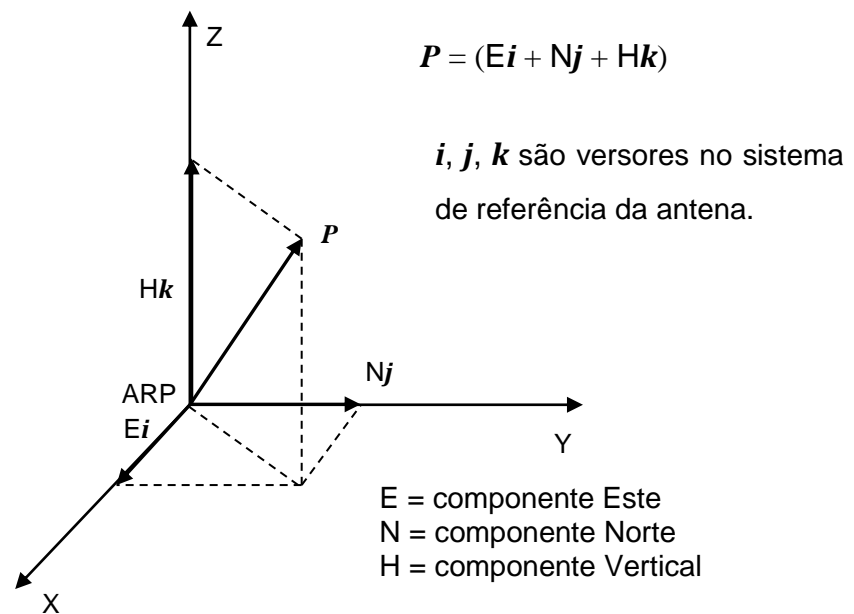


FIGURA 14 – COMPONENTES DO VETOR PCO

Em princípio, o CFM é uma aproximação do comportamento real do centro de fase da antena, ao mesmo tempo em que é o centro de uma superfície esférica que corresponde ao diagrama de fase médio ou ideal (isotrópico) que mais se aproxima do diagrama de fase efetivo (MENGE, 2003 apud FREIBERGER JUNIOR, 2007). Desta forma, as PCV são interpretadas como um adiantamento ou um atraso que ocorre no padrão de fase efetivo ou real em relação ao padrão de fase ideal, o que resulta em distâncias remanescentes entre os diagramas representantes dos padrões, FIGURA 15.

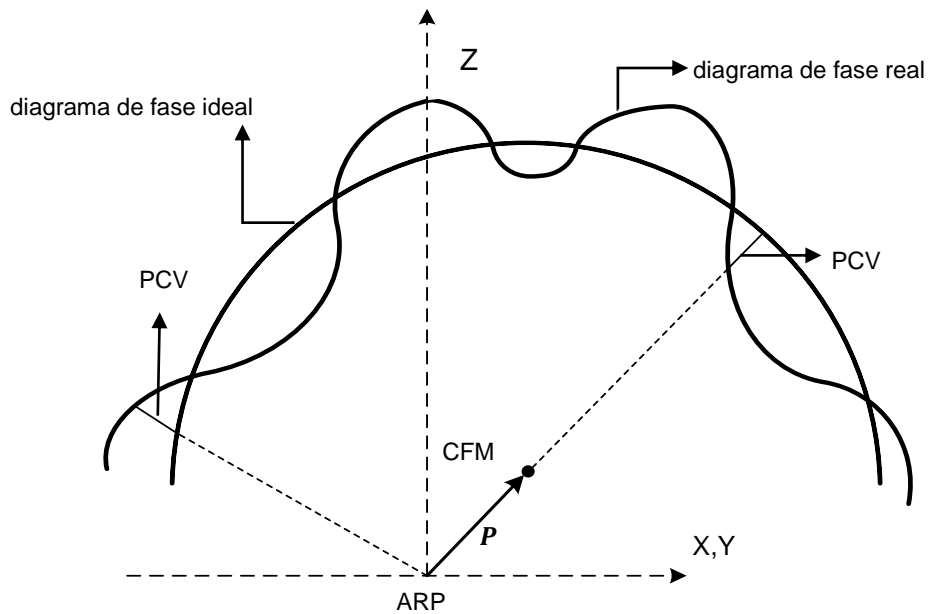


FIGURA 15 – INTERPRETAÇÃO DAS PCV UTILIZANDO O DIAGRAMA DE FASE  
 FONTE: ADAPTADO WANNINGER (2002)

As considerações feitas ao vetor  $\mathbf{P}$  e às PCV produzem correções que devem ser vinculadas ao ARP. Menge (2003) apresenta a fórmula para o cálculo das correções, através da decomposição do vetor  $\mathbf{P}$  na direção de recepção do sinal somada à respectiva PCV da referente direção, equação (2.15).

$$\Delta\varphi_{ARP}(\alpha, \theta) = \mathbf{P} \cdot \mathbf{e} + PCV(\alpha, \theta). \quad (2.15)$$

A FIGURA 16 ilustra a geometria envolvida no cálculo das correções ao ARP.

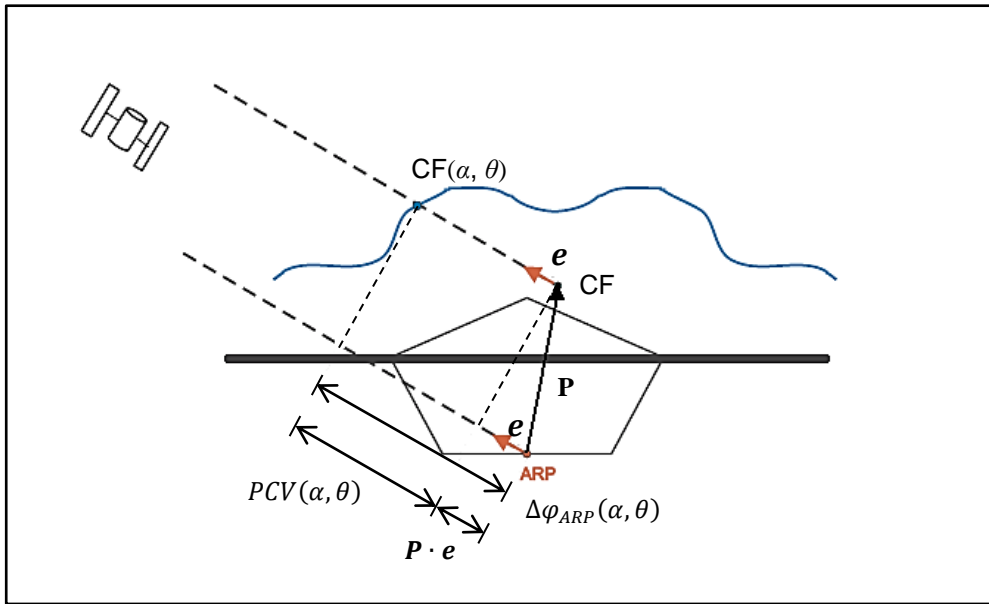


FIGURA 16 – GEOMETRIA DAS CORREÇÕES A SEREM REALIZADAS AO ARP  
 FONTE: ADAPTADO MENGE (2003)

Uma vez determinadas as coordenadas do CFM (PCO) e as PCV associadas, constituir-se-á um agrupamento de correções único, i.e., as PCV podem ser interpretadas apenas mediante ao PCO para o qual correspondem (FEIBERGER JUNIOR, 2007)

Um conjunto original de correções que se caracteriza por um vetor PCO e uma função que leva em consideração as PCV direcionais,  $PCV(\alpha, \theta)$ , pode ser transformado em um novo conjunto de correções, com um novo vetor PCO e novas PCV que fornecerão os mesmos resultados do conjunto original quando aplicados no processamento de dados GPS (ROTHACHER et al., 1995).

Assim, para uma mesma antena, infinitos conjuntos de parâmetros PCO e PCV produzem as mesmas correções:

$$\begin{aligned}\Delta_{ARP}^{f,n}(\alpha, \theta) &= \mathbf{P}^{f,1} \cdot \mathbf{e} + PCV^{f,1}(\alpha, \theta) \\ &= \mathbf{P}^{f,2} \cdot \mathbf{e} + PCV^{f,2}(\alpha, \theta) \\ &\dots\end{aligned}\tag{2.16}$$

onde  $f$  diz respeito à frequência da onda portadora e  $n$  refere-se ao conjunto de parâmetros.

Portanto, considerando dois conjuntos de parâmetros, cada um composto pelo vetor PCO e as PCV a ele associadas, as equações (2.16) podem ser escritas como:

$$\mathbf{P}^{f,1} \cdot \mathbf{e} + PCV^{f,1}(\alpha, \theta) = \mathbf{P}^{f,2} \cdot \mathbf{e} + PCV^{f,2}(\alpha, \theta), \quad (2.17)$$

Os parâmetros PCO e PCV são determinados por processos de calibração de antenas. Após a determinação das coordenadas do CFM, no sistema de referência da antena, determina-se o termo de correção dependente da direção do sinal incidente,  $PCV(\alpha, \theta)$ , por meio de polinômios, poligônios ou desenvolvimento de funções esféricas. (WANNINGER, 2002 apud FREIBERGER JUNIOR, 2007).

Em Mader (1999), apresenta-se uma modelagem das PCV através de polinômios de 4ª. ordem em função do ângulo de elevação.

Entretanto, uma abordagem utilizando-se funções harmônicas esféricas torna-se fisicamente mais apropriada para o problema, uma vez que se trata da tentativa de descrever a distribuição das PCV em torno de um ponto médio, o CFM da antena. Assim, a geometria esférica torna-se mais conveniente.

Rothacher et al. (1995) e Morescki Jr e Ferreira (2014) consideram que o comportamento das PCV seja modelado pela equação

$$PCV(\alpha, \theta) = \sum_{n=0}^{n_{\text{máx}}} \sum_{m=0}^n \tilde{P}_{nm}(\cos \theta) (a_{nm} \cos m\alpha + b_{nm} \sin m\alpha), \quad (2.18)$$

onde:  $\tilde{P}_{nm} = \Lambda(n, m) P_{nm}$  = funções associadas de Legendre normalizadas de grau  $n$  e ordem  $m$  ( $m \leq n$ ).

$P_{nm}$  = funções associadas de Legendre.

$\Lambda(n, m)$  = função normalizadora.

$a_{nm}$  e  $b_{nm}$  = são os coeficientes dos harmônicos esféricos.

A normalização é proposta em Schaer et al. (1995).

## 2.6 CALIBRAÇÃO DE ANTENAS

A determinação da localização do ponto em que a fase do sinal recebido do satélite incide na antena, o qual não pode ser fisicamente estabelecido, revela-se um assunto de extrema relevância no âmbito das aplicações geodésicas de alta acurácia. Os componentes da antena geram um sinal com avanço e atraso na fase antes do sinal ser transmitido ao receptor o que incorrerá em erros nas determinações de posições. O processo de calibração estabelece valores que representam o avanço e atraso da fase do sinal, variações do centro de fase, para um referencial centrado na antena e dependem da direção de recepção do sinal do satélite. Os valores determinados fazem com que os erros ocasionados pelas variações do centro de fase sejam minimizados quando utilizados no processamento dos dados das observações.

A calibração das antenas dos receptores pode ser conduzida considerando-se procedimentos que podem ser classificados em absoluto ou relativo; em câmaras anecóicas ou em campo. Fica, portanto, caracterizada, uma abordagem empírica ao problema. Para Menge (2003), a calibração pode ser conseguida pelos seguintes métodos:

- calibração absoluta em ambientes controlados (câmaras anecóicas);
- calibração absoluta em campo;
- calibração relativa em campo.

Para maiores detalhes sobre os métodos, Mader (1999), Menge (2003), Görres et al. (2006a), Freiburger Junior (2007), Krueger et al. (2007) e Huinca (2009) devem ser consultados.

A calibração de antenas GNSS tem por objetivo a determinação dos parâmetros que expressam as coordenadas do vetor PCO e dos respectivos parâmetros PCV dependentes de azimuth e elevação do satélite.



### 2.6.1 Calibração em ambientes controlados

A calibração em ambientes controlados – em que são minimizadas as influências da energia refletida nas paredes da câmara – consiste na utilização de sinais GNSS simulados por uma fonte de frequência no lugar dos atuais sinais dos satélites. As medidas realizadas para a determinação do centro de fase da antena têm caráter absoluto e levam em consideração as mudanças na fase do sinal recebido pela antena testada enquanto é submetida a rotações e inclinações de modo a variar a direção da incidência (azimute e elevação) dos sinais incidentes (SCHUPLER et al., 1996; GÖRRES et al., 2006a; BECKER et al., 2010)

### 2.6.2 Calibração Relativa de Antenas

Em uma calibração relativa, todos os parâmetros PCOs e PCVs da antena testada são determinados em relação a uma antena tomada como referência para a qual, normalmente, os valores das variações do centro de fase, PCVs, são considerados zero. As primeiras medidas utilizando esta metodologia foram desenvolvidas pelo NGS (*National Geodetic Survey*) (MADER, 1999). Este método consiste em utilizar duas antenas separadas por uma linha de base muito curta de posições conhecidas com acurácia. As medidas que determinam as diferenças do centro de fase das duas antenas são realizadas utilizando uma técnica interferométrica. Para as calibrações relativas NGS, a antena de referência é a *Dorne Margolin choke ring antenna, type T (AOAD/M\_T)*. Uma calibração relativa é, portanto, desviada por um avanço ou atraso de fase apresentado pela antena de referência. (MADER, 1999; WESTON e MADER, 2008). Métodos similares são realizados por (BOUSSAAD et al., 2005) e (GÖRRES et al., 2006a)

### 2.6.3 Calibração Absoluta de Antenas

Nas calibrações absolutas as medidas para a determinação dos parâmetros PCOs e PCVs não necessitam de uma antena de referência. O procedimento pode ser conduzido em ambientes controlados ou em campo (GÖRRES et al., 2006a; ZEIMETZ e KUHLMANN, 2008). Uma calibração absoluta em campo de antenas GNSS em que é utilizado um robô que executa movimentos rápidos de inclinação e rotação da antena testada foi desenvolvida pela empresa GEO<sup>++</sup> de Garbsen, Alemanha, em cooperação com o Institut Fur Erdmessung Unversitat Hannover (WÜBBENA e SCHMITZ, 2000). O procedimento elimina erros inerentes aos efeitos de campo distante e erros de multicaminho de campo próximo que podem afetar as medidas obtidas pelos métodos de calibração em câmaras anecóicas e calibração relativa. Para a eliminação dos efeitos de multicaminho de campo próximo desenvolveu-se uma estação livre de efeito sobre uma linha de base curta que deve operar em conjunto com o processo de calibração individual de uma antena GNSS (WÜBBENA et al., 2010; RAO et al., 2013).

Em 2006 foi recomendada pelo IGS a calibração absoluta das antenas dos receptores e dos satélites, pois as correções absolutas trazem melhores resultados comparados às correções relativas para algumas aplicações e produtos, uma vez que é possível a separação de erros e a modelagem de erros sistemáticos. (CHATZINIKOS et al., 2009)

O NGS e o IGS realizam procedimentos de calibração das antenas visando o aumento da acurácia dos serviços GNSS (ROTHACHER e MADER, 1996). Ambas as entidades disponibilizam parâmetros médios de calibração de antenas em seus portais na *internet*.

### 2.6.4 Calibração na BCAL/UFPR

A BCAL/UFPR, primeira no Brasil, estabelecida desde 2006, resultou da cooperação promovida pelo projeto internacional – PROBAL: CAPES/DAAD –

desenvolvido entre o Departamento de Geomática da UFPR e o Instituto Geodésico (GIK) da Universidade de Karlsruhe (TH), na Alemanha. Um dos objetivos do projeto foi a transferência de tecnologia entre as duas entidades parceiras.

A base de calibração conta com três pilares para que sejam conduzidas campanhas de calibrações utilizando o método relativo em nível absoluto. Maiores detalhes em Krueger et al. (2007), Huinca (2009) e Huinca et al. (2012).

Nas campanhas de calibração de antenas realizadas pela BCAL/UFPR é utilizado o programa computacional WaSoft/Kalib caracterizado por um conjunto de módulos constituintes do programa WaSoft, desenvolvido para o pós-processamento e análise de observações GPS (WANNINGER, 2004 apud FREIBERGER JUNIOR, 2007)

Os principais módulos componentes do pacote WaSoft/Kalib e suas respectivas atribuições são listados a seguir:

- Módulo WASOFT: executa o processamento da linha de base e a resolução das ambiguidades;
- Módulo WANET: executa a conferência da resolução das ambiguidades. Produz um protocolo de informações onde constam os resultados da linha de base e a porcentagem de ambiguidades resolvidas.
- Módulo WAANT: este módulo realiza a determinação dos valores dos parâmetros de calibração, o vetor PCO e as PCV, fornecendo as saídas em quatro formatos comuns (ANTEX, NGS, antigo IGS e GEO<sup>++</sup>).

Utilizando-se um mecanismo chamado DRB (*DrehRumBum*), a antena a ser calibrada é submetida a rotações regulares num período de 24 horas.

As PCV são determinadas em azimuth elevação pelo método relativo em campo através da utilização de funções harmônicas esféricas. Como o processamento de dados requer a utilização de parâmetros absolutos da antena utilizada como referência, as correções obtidas são em nível absoluto. Para tanto, é necessário que:

- Os valores do PCO e das PCV existentes para a antena de referência sejam aplicados;
- A antena a ser calibrada seja submetida a rotações de forma coordenada durante 24 horas de forma que existam medições em todos os azimutes;

- O efeito de multicaminho seja reduzido, uma vez tanto a estação de referência quanto a de observação estão sujeitas a esta interferência.

Segundo Freiburger Junior (2007), o início do processo acontece com a leitura dos dados em formato RINEX referentes ao tempo de 24 horas de rastreo em ambas as estações. O módulo WaSoft utiliza-se dos dados de fase das duas ondas portadoras e determina as alterações de azimute entre épocas para a repetição de movimentos da antena. Por fim, são gerados arquivos em formato ATX contendo as características do centro de fase da antena calibrada: as três coordenadas do vetor PCO e as respectivas PCVs associadas a ele, o horário de início e tempo de duração da campanha. Cada campanha de calibração produz um conjunto de parâmetros PCOs e PCVs para serem empregados no processamento das observações GPS.

## 2.7 INTEGRAÇÃO NUMÉRICA

A integração numérica caracteriza-se por ser um processo computacional com o objetivo de determinar um valor numérico para a integral de uma função sobre um determinado conjunto matemático. O método procura substituir a função integrada ( $f$ ) por outra função ( $g$ ), tal que  $f \approx g$ , pouco mais simples para ser integrada, nos casos em que não se conhece a função  $f$ , em que se dispõe apenas de uma tabela de valores de  $f$  e nos casos em que a função  $f$  é muito complexa, o que dificulta a determinação da integral por antiderivação. Os métodos numéricos para a resolução de integrais mais utilizados são: Método do Trapézio e o Método de Simpson.

As Equações Diferenciais Ordinárias (EDO) e as Equações Diferenciais Parciais (EDP) também podem ser resolvidas por processos numéricos. O método mais utilizado é o Método do Polinômio de Taylor, que é um procedimento bem geral. Os métodos mais específicos da aplicação do Polinômio de Taylor são o Método de Euler e o Método de Runge-Kutta. Para mais detalhes, recomenda-se a consulta de literatura especializada. Podem ser citados: Atkinson (1978), Ralston e Rabinowitz (1984) e Boyce e DiPrima (2002).

### 3 METODOLOGIA

O desenvolvimento de um método para a propagação dos parâmetros do centro de fase de antenas GPS utilizando como condições iniciais os parâmetros PCO e PCV obtidos pelo programa WaSoft/Kalib consiste em aplicar a integração numérica às componentes do vetor PCO e calcular as respectivas PCV vinculadas ao vetor PCO propagado.

Em Dinâmica Orbital a integração numérica é aplicada na propagação de órbitas de satélites artificiais com o objetivo de prever o vetor de estado do satélite partindo de condições iniciais. Este procedimento tem por objetivo garantir o conhecimento acurado da órbita e, assim, a qualidade esperada nos serviços disponibilizados pelas tecnologias envolvidas (BROWER e CLEMENCE, 1961; SEEGER, 2003; FERREIRA e de MORAES, 2009)

Como objetivo de validação do método, os parâmetros propagados (vetor PCO e os respectivos parâmetros PCV) serão comparados àqueles estabelecidos pelo programa WaSoft/Kalib para a mesma época. Serão comparadas também as coordenadas geodésicas do ponto observado, obtidas pelo processamento considerando os parâmetros propagados e as coordenadas obtidas através de processamento que aplique os seguintes parâmetros: próprios da antena (WaSoft/Kalib), estabelecidos pelo NGS e sem o emprego de parâmetros PCOs e PCVs.

Os dados utilizados para a referida proposta metodológica são os parâmetros do centro de fase da antena que foram estabelecidos por campanhas de calibração. A partir de duas campanhas de calibração, definidas como campanha **primária** e campanha **secundária**, tomadas em ordem cronológica crescente, determina-se a taxa de variação temporal de cada componente do vetor PCO. Em seguida, as componentes são propagadas por integração numérica pelo método Runge-Kutta 7(8) com coeficientes de Fehlberg, com passo de integração fixo, até uma data específica, caracterizando assim, o vetor PCO propagado. As PCV associadas ao PCO propagado são, então, determinadas para que seja gerado o arquivo, em formato de texto, contendo os parâmetros propagados do centro de fase da antena. Por fim, utilizando software comercial Leica Geo Office, são determinadas as coordenadas geodésicas do ponto observado levando-se em conta

os parâmetros PCO e PCV determinados pela metodologia proposta para que sejam comparadas às coordenadas obtidas considerando-se diferentes parâmetros. A sequência das tarefas propostas é ilustrada pelo fluxograma a seguir, FIGURA 17.

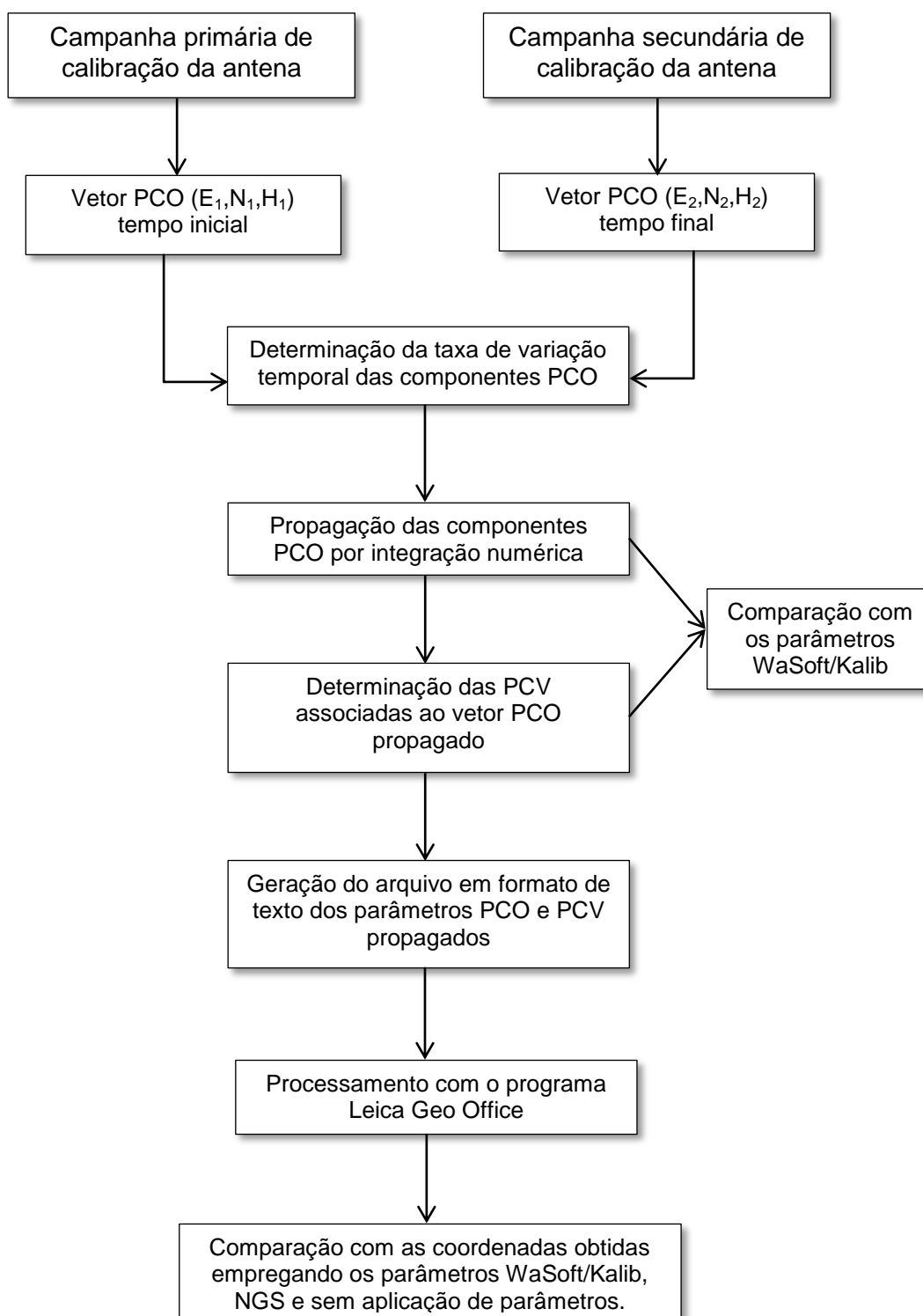


FIGURA 17 – FLUXOGRAMA DA PROPOSTA METODOLÓGICA

### 3.1 PROPAGAÇÃO DAS COMPONENTES DO VETOR PCO

Cada campanha de calibração a que é submetida a antena a ser calibrada fornece parâmetros referentes ao seu centro de fase, vetor PCO e PCV. Os valores constam do arquivo de saída onde encontram-se dispostos em matrizes. As componentes do vetor PCO são apresentadas em uma matriz linha com três colunas correspondentes às componentes ordenadas em N, E e H. Em seguida, uma matriz linha com 18 colunas apresenta as PCV dependentes apenas do ângulo zenital. Cada coluna corresponde a um ângulo zenital no intervalo  $[0^\circ, 85^\circ]$ , com variação de  $5^\circ$  de uma coluna para outra. As PCV dependentes de azimuth e ângulo zenital são dispostas na sequência, em uma matriz de dimensão  $73 \times 18$ , em que cada linha corresponde a um azimuth no intervalo  $[0^\circ, 360^\circ]$  com uma variação de  $5^\circ$  de uma linha para outra, as colunas seguem com a mesma distribuição descrita anteriormente sobre os ângulos zenitais. Uma parte do arquivo de saída, contendo os parâmetros do centro de fase da antena é apresentado na FIGURA 18.

LEIAX1202GG				UFPR			1 26.09.2011			TYPE / SERIAL NO		
FIELD							METH / BY / # / DATE					
5.0	0.0	85.0	5.0	DAZI			ZEN1 / ZEN2 / DZEN			# OF FREQUENCIES		
2							START OF FREQUENCY					
01	1.52	-0.08	62.94				NORTH / EAST / UP					
NOAZI	0.77	0.57	0.17	-0.12	-0.16	-0.02	0.19	0.39	0.47			
0.0	0.77	0.53	0.09	-0.11	0.04	0.30	0.52	0.63	0.50			
5.0	0.77	0.53	0.08	-0.12	0.03	0.32	0.55	0.61	0.43			
10.0	0.77	0.53	0.08	-0.14	0.01	0.31	0.54	0.58	0.37			
15.0	0.77	0.54	0.08	-0.15	-0.03	0.27	0.50	0.53	0.32			
20.0	0.77	0.55	0.09	-0.16	-0.06	0.21	0.43	0.47	0.29			
25.0	0.77	0.56	0.10	-0.17	-0.10	0.13	0.33	0.40	0.28			
30.0	0.77	0.57	0.12	-0.16	-0.14	0.05	0.23	0.33	0.29			
35.0	0.77	0.58	0.15	-0.15	-0.17	-0.03	0.13	0.28	0.32			
40.0	0.77	0.59	0.17	-0.13	-0.19	-0.10	0.05	0.25	0.36			
45.0	0.77	0.61	0.20	-0.11	-0.20	-0.14	0.00	0.24	0.42			
50.0	0.77	0.62	0.23	-0.09	-0.19	-0.16	-0.01	0.26	0.48			
55.0	0.77	0.63	0.25	-0.06	-0.18	-0.15	0.01	0.30	0.54			
60.0	0.77	0.65	0.28	-0.04	-0.16	-0.11	0.07	0.37	0.59			
65.0	0.77	0.66	0.30	-0.02	-0.13	-0.05	0.16	0.46	0.64			
70.0	0.77	0.67	0.32	-0.01	-0.12	0.01	0.27	0.56	0.67			

FIGURA 18 – REPRESENTAÇÃO PARCIAL DO ARQUIVO QUE CONTÉM OS PARÂMETROS PCO E PCV DO PROGRAMA WASOFT/KALIB

Analisando-se o comportamento das componentes do vetor PCO através de campanhas de calibração diferentes, verifica-se que existe uma variação temporal aproximadamente linear envolvendo duas campanhas distintas. Assim, define-se

uma taxa de variação temporal para o vetor PCO entre duas campanhas de calibração quaisquer como:

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} = \frac{\Delta\mathbf{P}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{P}_2 - \mathbf{P}_1}{t_2 - t_1}, \quad (3.1)$$

onde:  $\mathbf{P}_1$  = vetor PCO relativo à campanha primária;

$\mathbf{P}_2$  = vetor PCO relativo à campanha secundária;

$t_1$  = tempo de início da primeira campanha calculada em Dias Julianos Modificados (DJM);

$t_2$  = tempo de encerramento da segunda campanha em (DJM).

Escrevendo-se  $\mathbf{P}_1$  e  $\mathbf{P}_2$  no sistema de referência da antena (FIGURA 14, p. 28), tem-se:

$$\mathbf{P}_1 = (E_1\mathbf{i} + N_1\mathbf{j} + H_1\mathbf{k}), \quad (3.2)$$

$$\mathbf{P}_2 = (E_2\mathbf{i} + N_2\mathbf{j} + H_2\mathbf{k}),$$

e substituindo-se na equação (3.1), tem-se:

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} \equiv \frac{\Delta\mathbf{P}}{\Delta t} \equiv \frac{E_2 - E_1}{t_2 - t_1}\mathbf{i} + \frac{N_2 - N_1}{t_2 - t_1}\mathbf{j} + \frac{H_2 - H_1}{t_2 - t_1}\mathbf{k}. \quad (3.3)$$

Escrevendo a equação (3.3) da forma

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} \equiv \frac{\Delta\mathbf{P}}{\Delta t} \equiv \frac{\Delta E}{\Delta t}\mathbf{i} + \frac{\Delta N}{\Delta t}\mathbf{j} + \frac{\Delta H}{\Delta t}\mathbf{k}, \quad (3.4)$$

definem-se as variações temporais das componentes do vetor PCO como:

$$\frac{dE}{dt} \equiv \frac{\Delta E}{\Delta t} \equiv \frac{E_2 - E_1}{t_2 - t_1},$$

(3.5)



$$\frac{dN}{dt} \equiv \frac{\Delta N}{\Delta t} \equiv \frac{N_2 - N_1}{t_2 - t_1}$$

e

$$\frac{dH}{dt} \equiv \frac{\Delta H}{\Delta t} \equiv \frac{H_2 - H_1}{t_2 - t_1}.$$

Uma vez considerado o comportamento linear em relação do vetor PCO e de suas componentes em relação ao tempo, escreve-se:

$$\mathbf{P}'_i = \mathbf{P}'_{i-1} + \frac{d\mathbf{P}}{dt} \Delta t \quad (3.6)$$

onde: o subíndice ( $i$ ) indica o número de iterações. Portanto, para  $i = 1$  tem-se:

$\mathbf{P}'_0$  = PCO inicial, o qual coincide com o vetor PCO da campanha primária.

Os demais elementos são identificados como:

$\mathbf{P}'$  = vetor PCO propagado;

$\frac{d\mathbf{P}}{dt}$  = vetor taxa de variação PCO e

$\Delta t$  = tempo de propagação, em (DJM).

Em termos das componentes, a equação (3.6) pode ser escrita na forma:

$$E'_i \mathbf{i} + N'_i \mathbf{j} + H'_i \mathbf{k} = (E'_{i-1} \mathbf{i} + N'_{i-1} \mathbf{j} + H'_{i-1} \mathbf{k}) + \left( \frac{dE}{dt} \mathbf{i} + \frac{dN}{dt} \mathbf{j} + \frac{dH}{dt} \mathbf{k} \right) \Delta t. \quad (3.7)$$

Assim, as componentes propagadas do vetor PCO são determinadas por:

$$E'_i = E'_{i-1} + \frac{dE}{dt} \Delta t, \quad \text{com } E'_0 = E_1 \text{ para } i = 1;$$

$$N'_i = N'_{i-1} + \frac{dN}{dt} \Delta t, \quad \text{com } N'_0 = N_1 \text{ para } i = 1$$

(3.8)

e

$$H'_i = H'_{i-1} + \frac{dH}{dt} \Delta t, \text{ com } H'_0 = H_1 \text{ para } i = 1$$

Exemplificando-se o apenas o comportamento linear da componente vertical do vetor PCO propagado, resultante da integração numérica das equações (3.8), apresenta-se no gráfico da FIGURA 19 os valores da componente ao longo do período de integração para a onda portadora L1.

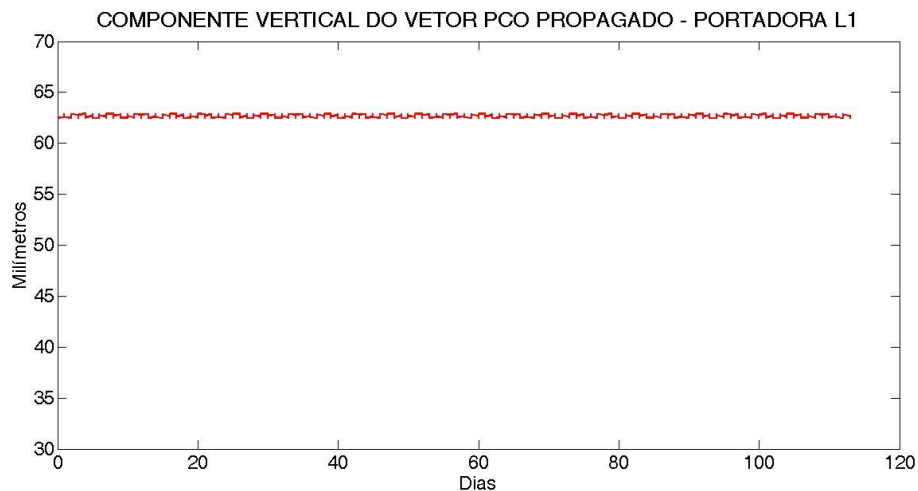


FIGURA 19 – COMPORTAMENTO DA COMPONENTE VERTICAL DO VETOR PCO PROPAGADO – ONDA PORTADORA L1

As demais componentes apresentam o mesmo comportamento ao longo tempo, diferenciando-se apenas na magnitude das componentes. A FIGURA 20 apresenta o comportamento da componente vertical propagada do vetor PCO referente à onda portadora L2.

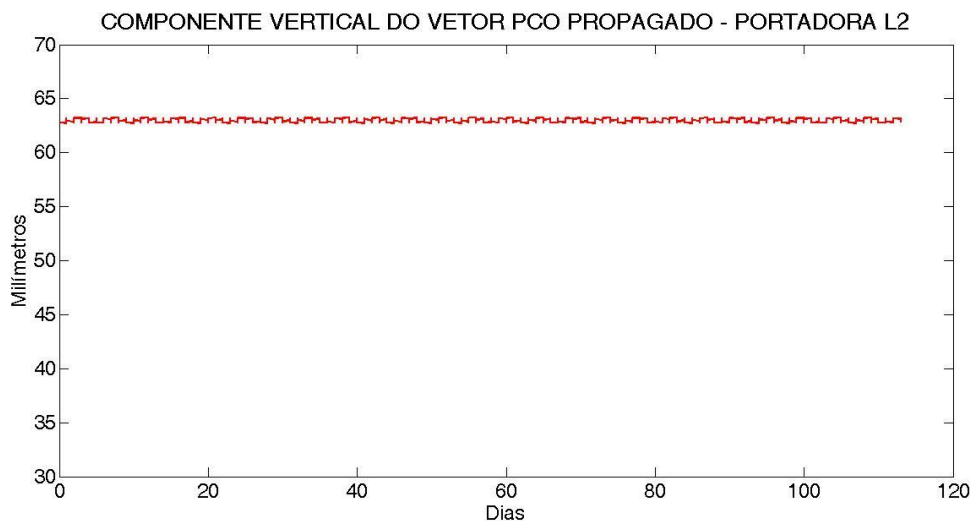


FIGURA 20 – COMPORTAMENTO DA COMPONENTE VERTICAL DO VETOR PCO PROPAGADO – ONDA PORTADORA L2

Comportamentos semelhantes aos apresentados nos gráficos anteriores são obtidos em todas as propagações realizadas no presente trabalho.

### 3.2 DETERMINAÇÃO DAS PCV ASSOCIADAS AO PCO PROPAGADO

Para compor um conjunto de correções ao ARP devidas ao centro de fase da antena, é necessário o conhecimento do vetor PCO e das PCVs a ele associadas. Segundo as equações (2.16), cada conjunto de parâmetros produz um conjunto de correções dependentes da direção do sinal recebido do satélite. Para uma mesma antena, é possível relacionar dois conjuntos de correções ao ARP para uma determinada frequência da onda portadora utilizando-se a equação (2.17). Assim, levando-se em conta duas campanhas de calibração distintas relacionadas a uma mesma onda portadora, Menge (2003) expressa as PCV correspondentes a um dia em função das PCV correspondentes a outro dia como

$$PCV^2(\alpha, \theta) = \mathbf{P}^1 \cdot \mathbf{e} - \mathbf{P}^2 \cdot \mathbf{e} + PCV^1(\alpha, \theta), \quad (3.9)$$

a qual pode ser escrita utilizando parâmetros iniciais ( $\mathbf{P}_1$  e  $PCV_1$ ) e propagados ( $\mathbf{P}'$  e  $PCV'$ ) na forma

$$PCV'(\alpha, \theta) = \mathbf{P}_1 \cdot \mathbf{e} - \mathbf{P}' \cdot \mathbf{e} + PCV_1(\alpha, \theta) \quad (3.10)$$

ou

$$PCV'(\alpha, \theta) = \mathbf{e} \cdot (\mathbf{P}_1 - \mathbf{P}') + PCV_1(\alpha, \theta). \quad (3.11)$$

O vetor unitário ( $\mathbf{e}$ ) deve ser decomposto no sistema de referência da antena em função dos ângulos direcionais do sinal do satélite: azimuth ( $\alpha$ ) e ângulo zenital ( $\theta$ ), FIGURA 21.

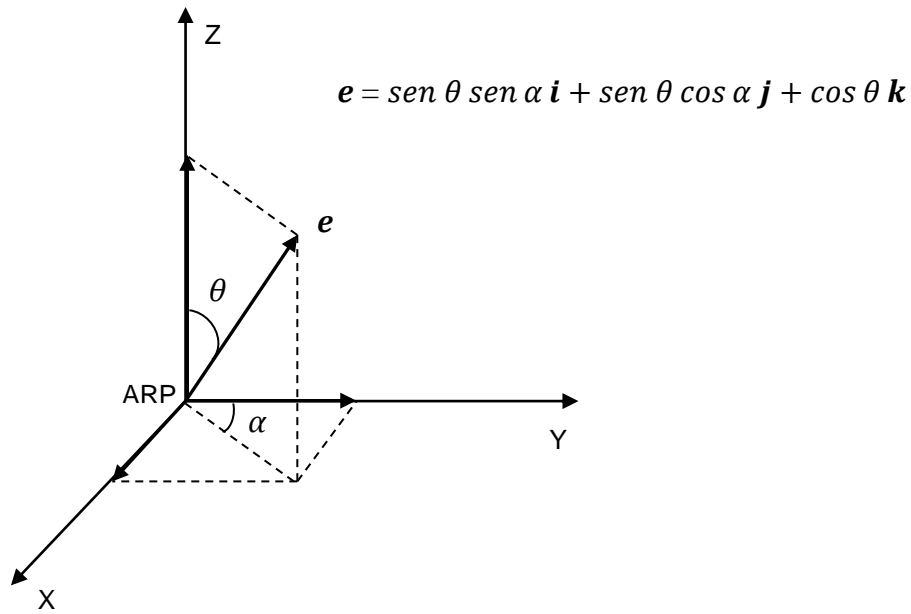


FIGURA 21 – COMPONENTES DO VETOR DO VETOR UNITÁRIO ( $e$ )

Escrevendo a equação (3.10) em função das componentes dos vetores PCO e vetor unitário ( $e$ ) obtém-se a equação

$$PCV'(\alpha, \theta) = [\text{sen } \theta \text{sen } \alpha \quad \text{sen } \theta \cos \alpha \quad \cos \theta] \begin{bmatrix} E_1 - E' \\ N_1 - N' \\ H_1 - H' \end{bmatrix} + PCV_1(\alpha, \theta). \quad (3.12)$$

Uma vez que o ângulo ( $\theta$ ) pode assumir ao todo 18 valores no intervalo  $[0^\circ, 85^\circ]$  e o ângulo ( $\alpha$ ) pode assumir 73 valores no intervalo  $[0^\circ, 360^\circ]$ , a matriz das componentes do vetor unitário ( $e$ ) expressam a sua decomposição hemisférica o que pode ser representado matricialmente na forma de uma matriz expansão hemisférica (EH) como

$$EH = \begin{bmatrix} \text{sen } \theta_1 \text{sen } \alpha_1 & \text{sen } \theta_1 \cos \alpha_1 & \cos \theta_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{sen } \theta_{18} \text{sen } \alpha_1 & \text{sen } \theta_{18} \cos \alpha_1 & \cos \theta_{18} \\ \text{sen } \theta_1 \text{sen } \alpha_2 & \text{sen } \theta_1 \cos \alpha_2 & \cos \theta_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{sen } \theta_{18} \text{sen } \alpha_2 & \text{sen } \theta_{18} \cos \alpha_2 & \cos \theta_{18} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{sen } \theta_{18} \text{sen } \alpha_{73} & \text{sen } \theta_{18} \cos \alpha_{73} & \cos \theta_{18} \end{bmatrix}. \quad (3.13)$$

Assim, as PCV propagadas podem ser calculadas utilizando-se a relação:

$$PCV'(\alpha, \theta) = [EH] \begin{bmatrix} E_1 - E' \\ N_1 - N' \\ H_1 - H' \end{bmatrix} + PCV_0(\alpha, \theta). \quad (3.14)$$

### 3.3 COMPARAÇÃO COM AS PCV CALCULADAS PELO PROGRAMA WASOFT

Os valores dos parâmetros PCV propagados para uma data específica são comparados aos valores PCV determinados pelo módulo WaAnt do programa WaSoft/Kalib para a mesma data.

Os valores da comparação são obtidos pela diferença entre as PCV determinadas com a metodologia proposta e as PCV estabelecidas pelo módulo WaAnt do programa WaSoft/Kalib ( $PCV_{ws}$ ), na forma

$$DIF(\alpha, \theta) = PCV'(\alpha, \theta) - PCV_{ws}(\alpha, \theta). \quad (3.15)$$

Os resultados provenientes da comparação permitem avaliar a magnitude da diferença entre os conjuntos de parâmetros estabelecidos para a antena na época em questão. Desta forma, a comparação é considerada uma maneira de avaliação para o método apresentado. Nos trabalhos de Görres et al. (2006b) e de Zeimetz e Kuhlmann (2008) são validados métodos de calibração por comparações cujas discrepâncias podem chegar ao valor de até 1mm.

### 3.4 PONTOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS

Foram realizados 22 experimentos envolvendo a determinação de coordenadas geodésicas e UTM, no sistema WGS-84, de 4 diferentes pontos: Pilar 2000, Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3, para os quais o ponto Pilar 1000 foi utilizado como ponto de referência para o processamento relativo estático. Os pontos referenciados

como Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3 foram levantados e processados originalmente por (WERLICH, 2012). Cada ponto foi submetido a mais de um experimento em que foram empregados diferentes parâmetros PCOs e PCVs propagados para a antena Leica AX 1202 GG. Os experimentos referentes a cada ponto e as linhas de base aproximadas são apresentados no QUADRO 2.

Ponto	Linha de Base Aproximada	Experimento
Pilar 2000	6 m	de 1 a 9, 21 e 22
Ponto 1	9 km	de 10 a 12
Ponto 2	45 km	de 13 a 17
Ponto 3	105 km	de 18 a 20

QUADRO 2 – LINHAS DE BASE DOS PONTOS RELACIONADOS AOS 22 EXPERIMENTOS

Os dados utilizados em cada experimento são apresentados e discutidos com maiores detalhes nas seções 4 e 5 do presente trabalho.

### 3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS PELO PROGRAMA LEICA GEO OFFICE

Após a determinação dos parâmetros propagados, é gerado um arquivo em formato de texto, compatível com o formato ANTEX, com o objetivo de ser inserido ao programa LEICA Geo Office para o processamento dos dados resultantes do posicionamento relativo estático das observações GNSS. Uma taxa de gravação de 1 segundo foi utilizada para a obtenção dos dados.

Os dados referentes ao Pilar 2000 e Ponto 1 foram processados com a utilização de efemérides transmitidas, sem adoção de um modelo de correção dos efeitos da troposfera e empregando-se a combinação linear entre ondas portadoras denominada de L1+L2.

Para o processamento dos dados do Ponto 2 e Ponto 3 foram utilizadas efemérides finais e modelo de *Hopfield* (SEEBER, 2003) para correção dos efeitos da troposfera. Para o Ponto 2 foi utilizada a combinação linear L1+L2 e para o Ponto 3 a combinação linear *Iono-free* (L3) para a correção do 1º efeito da ionosfera. Em todos os processamentos a máscara de elevação adotada é de 15°.

Em cada experimento são realizados 4 processamentos diferentes para os quais são mantidas as mesmas características, modificando apenas os parâmetros PCOs e PCVs empregados: parâmetros propagados, parâmetros calibrados pelo programa WaSoft/Kalib (BCAL/UFPR), parâmetros estabelecidos pelo NGS utilizando o método absoluto de calibração e sem a aplicação de quaisquer parâmetros PCOs e PCVs.

### 3.6 RECURSOS UTILIZADOS, COOPERAÇÃO E SUPORTE

As campanhas foram executadas pelo LAGEH (Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia) na BCAL/UFPR que fica localizada na laje do prédio onde se encontram o Laboratório Astronômico Camil Gemael e a sala de aula do LAGEH, na Universidade Federal do Paraná, campus Centro Politécnico, FIGURA 22.



FIGURA 22 – PRÉDIO DAS INSTALAÇÕES DA BCAL/UFPR

As campanhas de calibração caracterizaram-se pela aplicação do método de calibração relativa em campo e utilizaram a antena Leica AR25, posicionada no Pilar 1000, como antena de referência, enquanto que a antena a ser calibrada foi posicionada no Pilar 2000, FIGURA 23.

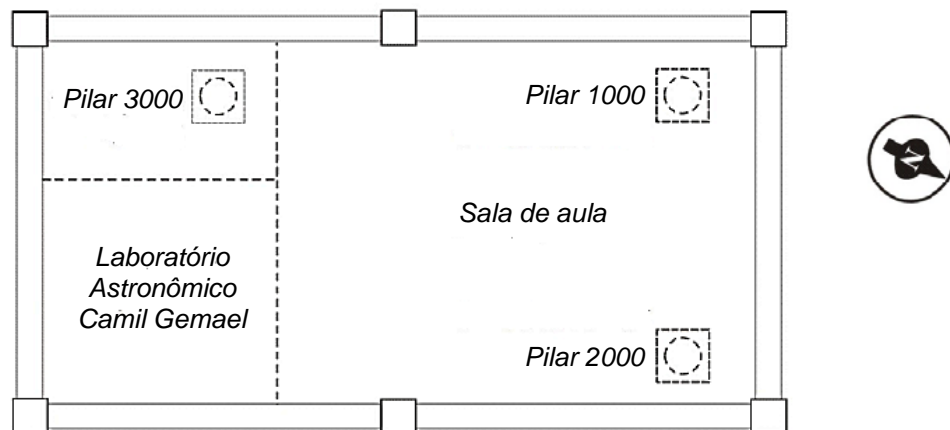


FIGURA 23 – PILARES 1000 E 2000 DA BCAL/UFPR  
 FONTE: ADAPTADO FREIBERGER JUNIOR (2007)

O software Matlab 7.7 foi utilizado para a manipulação dos dados contendo as informações sobre os parâmetros do centro de fase em formato ANTEX, e geração do novo arquivo de parâmetros em formato de texto.

As coordenadas do Pilar 2000 e dos Pontos 1, 2 e 3 foram calculadas pelo processamento relativo dos dados utilizando o programa Leica Geo Office com suporte do LAGEH.

#### 4 DADOS UTILIZADOS PELAS PROPAGAÇÕES

A metodologia proposta utilizou como dados resultados de campanhas de calibração da antena Leica AX 1202 GG realizadas nos meses de maio, agosto, setembro, outubro de 2011 e abril de 2012 com o emprego do programa WaSoft/Kalib que fornece, além dos parâmetros de calibração da antena, também informações sobre a data, o horário de início UTC (*Universal Time Coordinated*) e o tempo de duração. As informações das campanhas realizadas no mês de maio de 2011 acrescidas da Data Juliana Modificada (DJM) estão apresentadas no QUADRO 3.



CAMPANHA 1 – dia 12/maio/2011 – início: 19:04:30 – dur: 24,1h			
COMPONENTE PCO	PORTADORA L1	PORTADORA L2	DJM
N	0,69 mm	0,07 mm	55693,79479167
E	– 1,25 mm	0,68 mm	
H	62,70 mm	63,12 mm	
CAMPANHA 2 – dia 13/maio/2011 – início: 19:33:45 – dur: 24,7h			
COMPONENTE PCO	PORTADORA L1	PORTADORA L2	DJM
N	0,66 mm	– 0,10 mm	55694,81510417
E	– 1,32 mm	0,68 mm	
H	62,69 mm	62,99 mm	
CAMPANHA 3 – dia 14/maio/2011 – início: 20:32:45 – dur: 40,3h			
COMPONENTE PCO	PORTADORA L1	PORTADORA L2	DJM
N	1,10 mm	– 0,37 mm	55695,85607639
E	– 1,60 mm	0,68 mm	
H	65.54 mm	63,78 mm	

QUADRO 3 – INFORMAÇÕES DAS CAMPANHAS DO MÊS MAIO DE 2011.

No QUADRO 4 estão apresentadas as informações da campanha realizada no mês de agosto de 2011.

<b>CAMPANHA 4 – dia 30/agosto/2011 – início: 19:19:45 – dur: 24,2h</b>			
COMPONENTE PCO	PORTADORA L1	PORTADORA L2	DJM
N	1,89 mm	– 0,77 mm	55803,80538194
E	– 0,30 mm	0,46 mm	
H	65,52 mm	64,36 mm	

QUADRO 4 – INFORMAÇÕES DA CAMPANHA DO MÊS DE AGOSTO DE 2011.

As informações das campanhas realizadas durante o mês de setembro estão apresentadas no QUADRO 5.

continua

CAMPANHA 5 – dia 01/setembro/2011 – início: 13:05:15 – dur: 24,4h			
COMPONENTE PCO	PORTADORA L1	PORTADORA L2	DJM
N	1,45 mm	– 0,55 mm	55805,54531250
E	– 0,29 mm	0,31 mm	
H	63,85 mm	63,95 mm	
CAMPANHA 6 – dia 02/setembro/2011 – início: 14:34:00 – dur: 29,8h			
COMPONENTE PCO	PORTADORA L1	PORTADORA L2	DJM
N	1,56 mm	– 0,75 mm	55806,60694444
E	– 0,24 mm	0,30 mm	
H	63,22 mm	63,56 mm	

QUADRO 5 – INFORMAÇÕES DAS CAMPANHAS DO MÊS DE SETEMBRO DE 2011.

conclusão

<b>CAMPANHA 7</b> – dia 03/setembro/2011 – início: 20:54:15 – dur: 39,5h			
COMPONENTE PCO	PORTADORA L1	PORTADORA L2	DJM
N	1,39 mm	– 0,73 mm	55807,87100694
E	– 0,19 mm	0,30 mm	
H	63,59 mm	63,65 mm	
<b>CAMPANHA 8</b> – dia 05/setembro/2011 – início: 13:03:30 – dur: 24,2h			
COMPONENTE PCO	PORTADORA L1	PORTADORA L2	DJM
N	1,51 mm	– 0,66 mm	55809,54409722
E	– 0,16 mm	0,23 mm	
H	63,36 mm	63,86 mm	
<b>CAMPANHA 9</b> – dia 26/setembro/2011 – início: 15:07:30 – dur: 24,4h			
COMPONENTE PCO	PORTADORA L1	PORTADORA L2	DJM
N	1,52 mm	– 0,63 mm	55830,63020833
E	– 0,08 mm	0,17 mm	
H	62,94 mm	63,26 mm	
<b>CAMPANHA 10</b> – dia 27/setembro/2011 – início: 15:39:30 – dur: 24,8h			
COMPONENTE PCO	PORTADORA L1	PORTADORA L2	DJM
N	1,29 mm	– 0,41 mm	55831,65243056
E	– 0,89 mm	0,50 mm	
H	62,59 mm	62,70 mm	
<b>CAMPANHA 11</b> – dia 28/setembro/2011 – início: 17:57:00 – dur: 24,7h			
COMPONENTE PCO	PORTADORA L1	PORTADORA L2	DJM
N	1,20 mm	– 0,41 mm	55832,74791667
E	– 0,80 mm	0,48 mm	
H	62,98 mm	63,19 mm	

QUADRO 5 – INFORMAÇÕES DAS CAMPANHAS DO MÊS DE SETEMBRO DE 2011.

As informações sobre a campanha realizada no mês de outubro de 2011 estão apresentadas no QUADRO 6.

<b>CAMPANHA 12</b> – dia 01/outubro/2011 – início: 17:17:30 – dur: 42,6h			
COMPONENTE PCO	PORTADORA L1	PORTADORA L2	DJM
N	1,21 mm	– 0,41 mm	55835,72048611
E	– 0,97 mm	0,45 mm	
H	64,38 mm	63,97 mm	

QUADRO 6 – INFORMAÇÕES DA CAMPANHA DO MÊS DE OUTUBRO DE 2011

No QUADRO 7 estão apresentadas as informações sobre a campanha de calibração da antena realizada no mês de abril do ano de 2012.

<b>CAMPANHA 13</b> – dia 03/abril/2012 – início: 12:35:30 – dur: 24,0h			
COMPONENTE PCO	PORTADORA L1	PORTADORA L2	DJM
N	1,42 mm	– 0,52 mm	56020,52465278
E	– 0,54 mm	0,34 mm	
H	63,55 mm	64,50 mm	

QUADRO 7 – INFORMAÇÕES DA CAMPANHA DO MÊS DE ABRIL DE 2012.

Portanto, os dados empregados pela metodologia são os parâmetros do centro de fase para a antena Leica AX 1202GG estabelecidos em 13 campanhas de calibração.

Foram realizados 22 experimentos considerando, para cada um deles, dados de duas campanhas de calibração dentre as 13 disponíveis. Após a escolha de duas campanhas, a campanha com a data mais antiga entre elas foi denominada de **Campanha Primária** e os respectivos parâmetros PCOs foram considerados como condições iniciais para a propagação. A campanha com a data mais recente, entre as duas, foi denominada de **Campanha Secundária** cujos referidos vetores PCO foram utilizados para no cálculo da respectiva taxa de variação temporal. A escolha das duas campanhas utilizadas foi procedida de forma aleatória.

As campanhas envolvidas nos 22 experimentos realizados, bem como o dia para o qual os parâmetros foram propagados são apresentados no QUADRO 8.

continua

Experimento	Ponto	Campanha Primária	Campanha Secundária	Data final de propagação	DJM
1	Pilar 2000	1	2	01-09-2011	55805,54531250
2	Pilar 2000	1	2	02-09-2011	55806,60694444
3	Pilar 2000	4	5	26-09-2011	55830,63020833
4	Pilar 2000	4	5	27-09-2011	55831,65243056
5	Pilar 2000	1	2	28-09-2011	55832,74791667
6	Pilar 2000	4	5	28-09-2011	55832,74791667
7	Pilar 2000	5	6	28-09-2011	55832,74791667
8	Pilar 2000	5	8	28-09-2011	55832,74791667
9	Pilar 2000	5	6	01-10-2011	55835,72048611
10	Ponto 1	5	7	17-02-2012	55974,42413194
11	Ponto 1	5	9	17-02-2012	55974,42413194
12	Ponto 1	9	11	17-02-2012	55974,42413194
13	Ponto 2	1	2	13-02-2012	55970,47951389
14	Ponto 2	1	3	13-02-2012	55970,47951389
15	Ponto 2	5	7	13-02-2012	55970,47951389
16	Ponto 2	5	9	13-02-2012	55970,47951389
17	Ponto 2	9	11	13-02-2012	55970,47951389
18	Ponto 3	9	11	09-03-2012	55995,51250000

QUADRO 8 – CAMPANHAS CONSIDERADAS EM CADA EXPERIMENTO.

19	Ponto 3	1	2	03-04-2012	conclusão 56020,52465278
20	Ponto 3	9	11	03-04-2012	56020,00000000
21	Pilar 2000	1	2	28-09-2011 data intermediária 05-09-2011	55832,74791667  55809,54409722
22	Pilar 2000	5	6	01-10-2011 data intermediária 28-09-2011	55835,72048611  55832,74791667

QUADRO 8 – CAMPANHAS CONSIDERADAS EM CADA EXPERIMENTO.

Nos experimentos realizados com o Pilar 2000, a data final da propagação coincide com a data de uma das campanhas de calibração já efetuadas, com o objetivo de que os valores dos parâmetros propagados sejam comparados aos valores calibrados para a data em questão.

Para os experimentos realizados com os pontos denominados de Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3, as datas finais de propagação coincidem com as datas dos levantamentos, dias 17/02/2012, 13/02/2012 e 09/03/2012, respectivamente. Originalmente, os 3 pontos utilizaram parâmetros estabelecidos na campanha de calibração de 03/04/2012 (campanha 13). Portanto, calibrados posteriormente. Assim, nos experimentos de 10 a 18, os parâmetros propagados e as coordenadas obtidas por meio destes parâmetros são comparados aos parâmetros e coordenadas referentes à campanha 13. Nos experimentos 21 e 22, define-se um dia entre a data inicial e data final de uma propagação como data intermediária, para a qual os parâmetros atribuídos pela propagação numérica até então possam ser comparados aos parâmetros estabelecidos por campanha de calibração para o mesmo dia.

## 5 RESULTADOS

A proposta metodológica visa a propagação dos parâmetros PCOs e PCVs do centro de fase da antena Leica AX 1202GG e a determinação das coordenadas geodésicas e UTM dos seguintes pontos: Pilar 2000, ponto 1, ponto 2 e ponto 3.

### 5.1 EXPERIMENTO 1

O experimento 1 possui como campanha primária a campanha 1 e como campanha secundária a campanha 2. Os dados referentes ao experimento 1 são apresentados no QUADRO 9.

Experimento 1			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
<b>Campanha</b>	<b>Data</b>	<b>DJM</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Primária</b>	12/05/2011	55693,79479167	0,69	– 1,25	62,70	0,07	0,68	63,12
<b>Secundária</b>	13/05/2011	55694,81510417	0,66	– 1,32	62,69	– 0,10	0,68	62,99
<b>Data final de propagação = 01/09/2011 – 55805,54531250 DJM</b>								

QUADRO 9 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 1

A data final de propagação empregada no experimento 1 coincide com a data da campanha 5, assim, os valores propagados para os parâmetros PCOs podem ser comparados aos valores calibrados para a data. Os valores dos parâmetros PCOs propagados e a comparação com os parâmetros calibrados são apresentados na TABELA 1.

TABELA 1 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 1

Experimento 1	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
<b>Parâmetros</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Propagados</b>	0,63	– 1,38	62,56	– 0,25	0,68	62,76
<b>Calibrados</b>	1,45	– 0,29	63,85	– 0,55	0,31	63,95
<b>Diferença</b>	– 0,82	– 1,09	– 1,29	0,30	0,37	– 1,19

Nesta seção, os comentários referentes às comparações numéricas serão evidenciados observando-se os valores absolutos das diferenças encontradas.

Comparando-se as componentes dos vetores PCOs propagados com os calibrados, nota-se que as maiores diferenças aparecem para a portadora L1, atingindo aproximadamente 1,30 mm para a componente Vertical.

Os parâmetros PCOs propagados são utilizados para determinar os parâmetros PCVs associados os quais são comparados aos parâmetros PCVs calibrados da campanha 5 (01/09/20011). As diferenças, considerando a onda portadora L1, são apresentadas no gráfico da FIGURA 24.

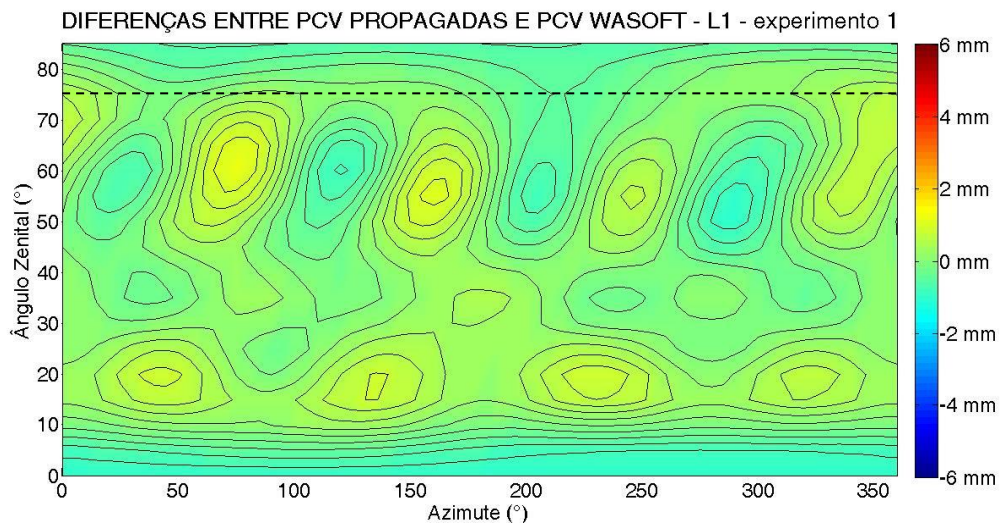


FIGURA 24 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 1

A linha pontilhada que aparece no gráfico indica o ângulo zenital de 75° (15° de elevação) que foi usado como ângulo de corte para o processamento relativo estático.

Na comparação entre os parâmetros PCVs para a onda portadora L1, diferenças máximas de 1 mm aparecem para o ângulo zenital de 0° e para a região próxima ao ângulo zenital de 60° e azimute de 75°. As diferenças entre as PCVs propagadas e as PCVs calibradas, considerando a onda portadora L2, são apresentadas no gráfico da FIGURA 25.

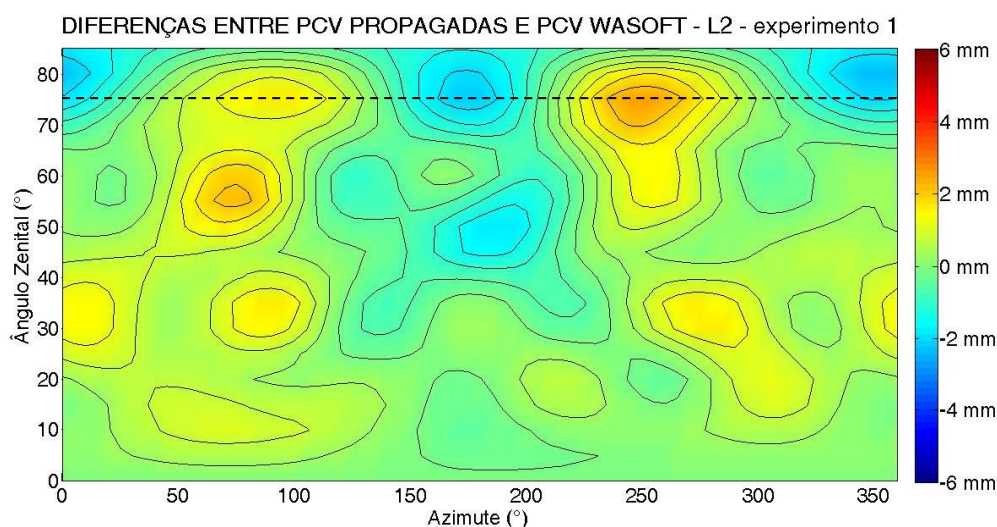


FIGURA 25 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 1

Para a onda portadora L2, as maiores diferenças, valores próximos de 2 mm, ocorrem para ângulos zenitais próximos a 75° e para os azimutes próximos a 250°.

Os parâmetros PCOs e PCVs propagados são utilizados na determinação das coordenadas geodésicas e UTM do Pilar 2000 para que sejam comparadas às coordenadas obtidas quando são utilizados os parâmetros calibrados pelo programa WaSoft/Kalib, os parâmetros absolutos do NGS e sem a utilização de quaisquer parâmetros. As coordenadas obtidas para o Pilar 2000 pelo experimento 1 são apresentadas na TABELA 2.

TABELA 2 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 1

Pilar 2000 – experimento 1					
Parâm.	latitude	longitude	altitude elips.	Norte (m)	Este (m)
WaSoft	25°26'54,88213"	49°13'52,22856"	927,2707 m	7184200,3667	677856,0992
Propag.	25°26'54,88211"	49°13'52,22855"	927,2722 m	7184200,3673	677856,0995
NGS	25°26'54,88212"	49°13'52,22856"	927,2715 m	7184200,3670	677856,0992
S/ parâm.	25°26'54,88213"	49°13'52,22856"	927,2561 m	7184200,3667	677856,0992

Em todos os experimentos as coordenadas obtidas com os parâmetros próprios da antena, parâmetros calibrados com o emprego do programa WaSoft/Kalib serão considerados como referência. Assim, no caso do experimento 1, os parâmetros PCOs e PCVs propagados quando utilizados no processamento dos dados de observação para a determinação das coordenadas do Pilar 2000

produzem discrepâncias de 0,6 mm na coordenada UTM Norte, 0,3 mm na coordenada Este e 1,5 mm na altitude. A utilização dos parâmetros NGS resulta numa discrepância de 0,3 mm na coordenada Norte e de 0,8 mm em altitude. Sem a utilização de parâmetros a diferença atinge o valor próximo a 14,6 mm na coordenada altitude.

## 5.2 EXPERIMENTO 2

O experimento 2 também utiliza as campanhas 1 e 2 como campanha primária e secundária, respectivamente. No entanto, a data final de propagação coincide com a data da campanha 6 (02/09/2011). As informações referentes ao experimento 2 estão apresentadas no QUADRO 10.

Experimento 2			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Campanha	Data	Início DJM	N	E	H	N	E	H
Primária	12/05/2011	55693,79479167	0,69	- 1,25	62,70	0,07	0,68	63,12
Secundária	13/05/2011	55694,81510417	0,66	- 1,32	62,69	- 0,10	0,68	62,99
Data final de propagação = 02/09/2011 – 55806,60694444 DJM								

QUADRO 10 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 2

Os parâmetros PCOs propagados para a data final de propagação são apresentados e comparados aos parâmetros calibrados pela campanha 6 na TABELA 3.

TABELA 3 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 2

Experimento 2	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Parâmetros	N	E	H	N	E	H
Propagados	0,66	- 1,31	62,48	- 0,08	0,68	62,80
Calibrados	1,56	- 0,24	63,22	- 0,75	0,30	63,56
Diferença	- 0,90	- 1,07	- 0,74	0,67	0,38	- 0,76

A maior discrepância, 1,07 mm, aparece para a componente Este dos vetores PCOs para a onda portadora L1. As demais diferenças não chegam a atingir o valor de 1 mm.



Os parâmetros PCVs associados aos parâmetros PCOs para o experimento 2 são determinados e comparados aos parâmetros calibrados pela campanha 6. Os resultados da comparação, considerando a onda portadora L1, são apresentados no gráfico da FIGURA 26.

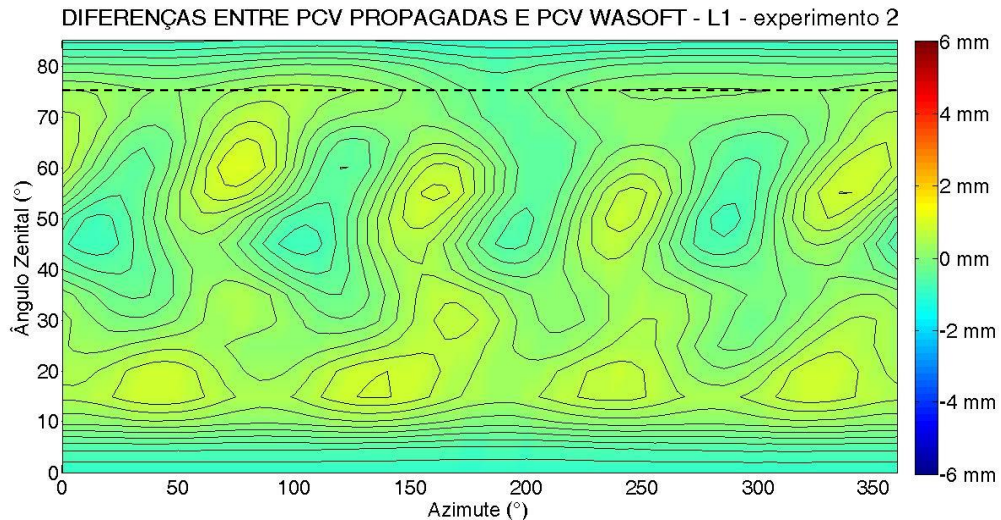


FIGURA 26 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 2

Nota-se que diferenças próximas de 0,8 mm aparecem para o ângulo zenital de 0°, bem como para as proximidades do ângulo zenital de 60° e azimute de 70°.

As diferenças entre as PCVs propagadas e as PCVs calibradas para a onda portadora L2 são apresentadas no gráfico da FIGURA 27.

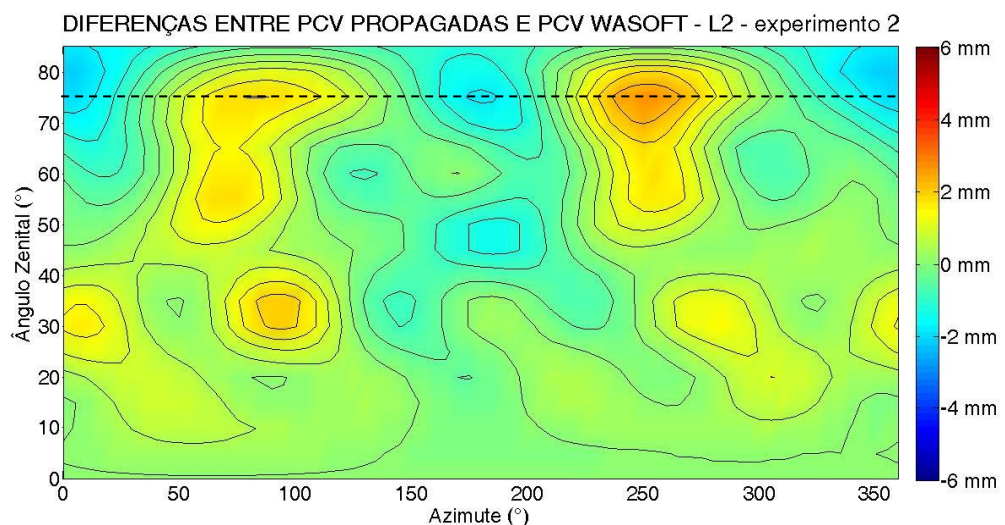


FIGURA 27 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 2

Para a onda portadora L2, as diferenças máximas, em torno de 2 mm, encontram-se próximas ao ângulo zenital de corte, 75°, nas proximidades do azimute 250°.

As coordenadas geodésicas e UTM do Pilar 2000 são determinadas mediante o emprego dos parâmetros propagados e comparadas às coordenadas determinadas utilizando os parâmetros próprios, parâmetros NGS e sem a utilização de quaisquer parâmetros PCOs e PCVs. As coordenadas obtidas para o Pilar 2000 empregando-se o experimento 2 são apresentadas na TABELA 4.

TABELA 4 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 2

<b>Pilar 2000 – Experimento 2</b>					
<b>Parâm.</b>	<b>latitude</b>	<b>longitude</b>	<b>altitude elips.</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>
WaSoft	25°26'54,88212"	49°13'52,22855"	927,2705 m	7184200,3670	677856,0995
Propag.	25°26'54,88211"	49°13'52,22854"	927,2716 m	7184200,3673	677856,0998
NGS	25°26'54,88211"	49°13'52,22856"	927,2708 m	7184200,3673	677856,0992
S/ parâm.	25°26'54,88213"	49°13'52,22855"	927,2556 m	7184200,3667	677856,0995

Em comparação às coordenadas obtidas com os parâmetros próprios, os parâmetros propagados resultam em uma diferença de 0,3 mm nas coordenadas UTM e 1,1 mm em altitude. Utilizando os parâmetros NGS, atinge-se uma discrepância de 0,3 mm em todas as coordenadas. Sem a aplicação dos parâmetros, a diferença de 0,3 mm aparece para a coordenada UTM Norte. Para a coordenada altitude, a diferença chega a um valor próximo a 15 mm.

### 5.3 EXPERIMENTO 3

Para o experimento 3, considera-se como campanha primária a campanha 4 e como secundária a campanha 5. As informações sobre as duas campanhas envolvidas no experimento 3 estão reunidas no QUADRO 11.

Experimento 3			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Campanha	Data	Início DJM	N	E	H	N	E	H
Primária	30/08/2011	55803,80538194	1,89	- 0,30	65,52	- 0,77	0,46	64,36
Secundária	01/09/2011	55805,54531250	1,45	- 0,29	63,85	- 0,55	0,31	63,95
Data final de propagação = 26/09/2011 – 55830,63020833 DJM								

QUADRO 11 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 3

A data final de propagação do experimento 3 coincide com a data da campanha 9 (26/09/2011). As componentes propagadas do vetor PCO comparadas com as componentes do vetor PCO da campanha de calibração 9 são apresentadas na TABELA 5.

TABELA 5 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 3

Experimento 3	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Parâmetros	N	E	H	N	E	H
Propagados	1,74	- 0,30	65,09	- 0,70	0,41	64,35
Calibrados	1,52	- 0,08	62,94	- 0,63	0,17	63,26
Diferença	0,22	- 0,22	2,15	- 0,07	0,24	1,09

Nota-se uma diferença de mais de 2 mm entre a componente Vertical do vetor PCO propagado e a respectiva componente do vetor PCO calibrado para a onda portadora L1. Para a onda portadora L2, a componente Vertical dos vetores apresenta uma diferença de pouco mais de 1 mm. Nas demais componentes, as diferenças entre o vetor propagado e o calibrado mantêm-se abaixo de 1 mm.

Os parâmetros PCVs associados aos PCOs propagados são calculados e comparados aos parâmetros PCVs calibrados para a onda portadora L1, os resultados da comparação são apresentados no gráfico da FIGURA 28.

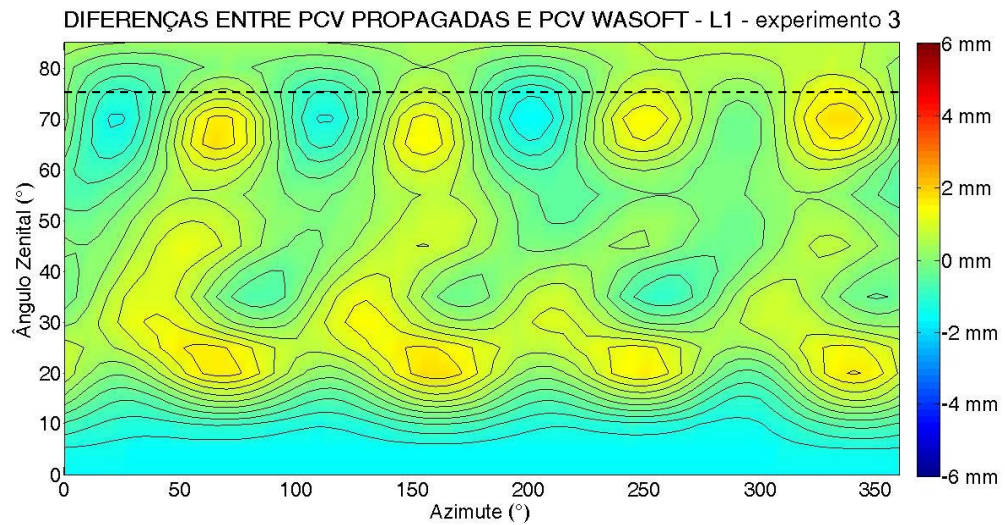


FIGURA 28 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 3

Considerando a onda portadora L1, a maior discrepância atinge o valor de 1,5 mm para a região próxima ao ângulo zenital de 0° a discrepância para os parâmetros PCVs propagados atinge um valor próximo a 1,5 mm. A discrepância também alcança o valor de 1,5 mm na região de ângulo zenital próximo de 70° e azimute de 330°.

As diferenças entre os parâmetros PCVs propagados e calibrados para a onda portadora L2 verificadas pelo experimento 3 são apresentadas no gráfico da FIGURA 29.

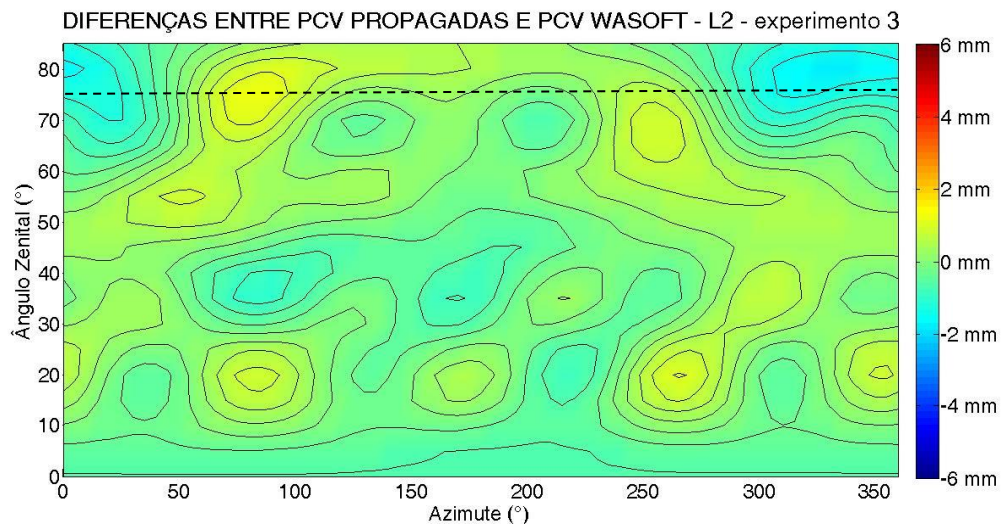


FIGURA 29 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 3

Para a onda portadora L2, as diferenças máximas chegam a 1 mm na região próxima ao ângulo zenital de corte e azimuth de 80°.

As coordenadas do Pilar 2000 encontradas com o experimento 3 são apresentadas na TABELA 6.

TABELA 6 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 3

<b>Pilar 2000 – Experimento 3</b>					
<b>Parâm.</b>	<b>latitude</b>	<b>longitude</b>	<b>altitude elips.</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>
WaSoft	25°26'54,88213"	49°13'52,22855"	927,2705 m	7184200,3667	677856,0995
Propag.	25°26'54,88212"	49°13'52,22855"	927,2691 m	7184200,3670	677856,0995
NGS	25°26'54,88211"	49°13'52,22855"	927,2705 m	7184200,3673	677856,0995
S/ parâm.	25°26'54,88212"	49°13'52,22855"	927,2554 m	7184200,3670	677856,0995

Nota-se que os parâmetros propagados produzem coordenadas em que o resultado difere em 1,4 mm em altitude quando comparadas às altitudes obtidas com os parâmetros WaSoft e NGS. Na comparação entre as coordenadas planimétricas, os parâmetros propagados resultam em uma diferença de 0,3 mm enquanto os parâmetros fornecidos pelo NGS se diferenciam em 0,6 mm na coordenada Norte. Sem a utilização de parâmetros, a discrepância na coordenada altitude é próxima de 15 mm. Para a coordenada UTM Norte, a discrepância é 0,3 mm.

#### 5.4 EXPERIMENTO 4

Para o experimento 4 as campanhas 4 e 5 também são consideradas como campanha primária e secundária, respectivamente. Em relação ao experimento anterior, a mudança ocorre na data final de propagação, alterada para 27/09/2014. O QUADRO 12 apresenta as informações sobre as campanhas utilizadas para a realização do experimento 4.



Experimento 4			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Campanha	Data	Início DJM	N	E	H	N	E	H
Primária	30/08/2011	55803,80538194	1,89	- 0,30	65,52	- 0,77	0,46	64,36
Secundária	01/09/2011	55805,54531250	1,45	- 0,29	63,85	- 0,55	0,31	63,95
Data final de propagação = 27/09/2011 – 55831,65243056 DJM								

QUADRO 12 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 4

O vetor PCO propagado e o vetor PCO determinado pela campanha de calibração do dia 27/09/2011 (campanha 10) são mostrados e comparados na TABELA 7.

TABELA 7 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 4

Experimento 4	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Parâmetros	N	E	H	N	E	H
Propagados	1,01	- 0,28	62,15	- 0,33	0,16	63,51
Calibrados	1,29	- 0,89	62,59	- 0,41	0,50	62,70
Diferença	- 0,28	0,61	- 0,44	0,08	- 0,34	0,81

A maior diferença, 0,81 mm aparece para a componente Vertical do vetor PCO para a onda portadora L2.

A comparação entre as PCVs associadas ao vetor PCO propagado com as PCVs relativas ao PCO calibrado para a onda portadora L1 são apresentadas no gráfico da FIGURA 30.

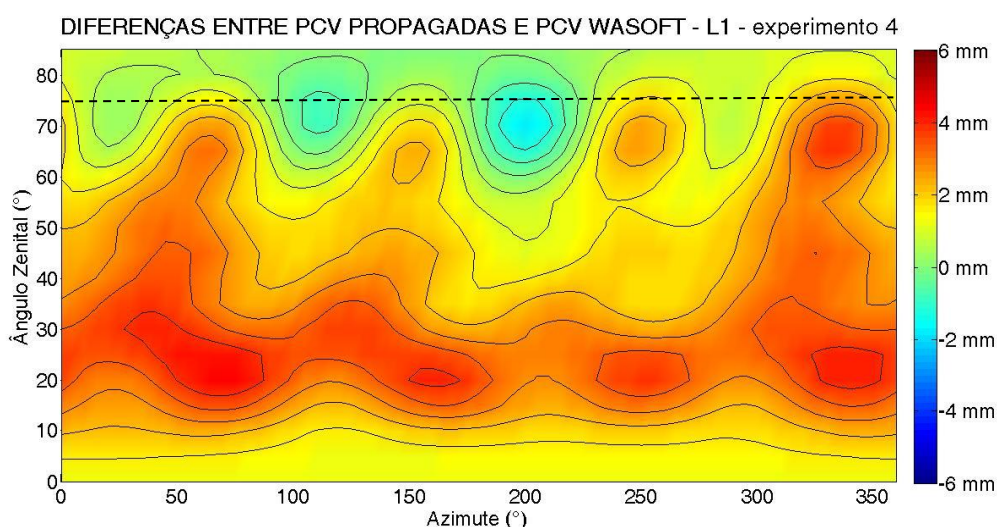


FIGURA 30 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 4

portadora L1 atingem valores máximos próximos a 4 mm para o ângulo zenital de 20°, entre os azimutes de 50° e 100°.

As diferenças encontradas na comparação dos parâmetros PCVs propagados com os parâmetros PCVs calibrados para a onda portadora L2 referentes ao experimento 4 são apresentadas no gráfico da FIGURA 31.

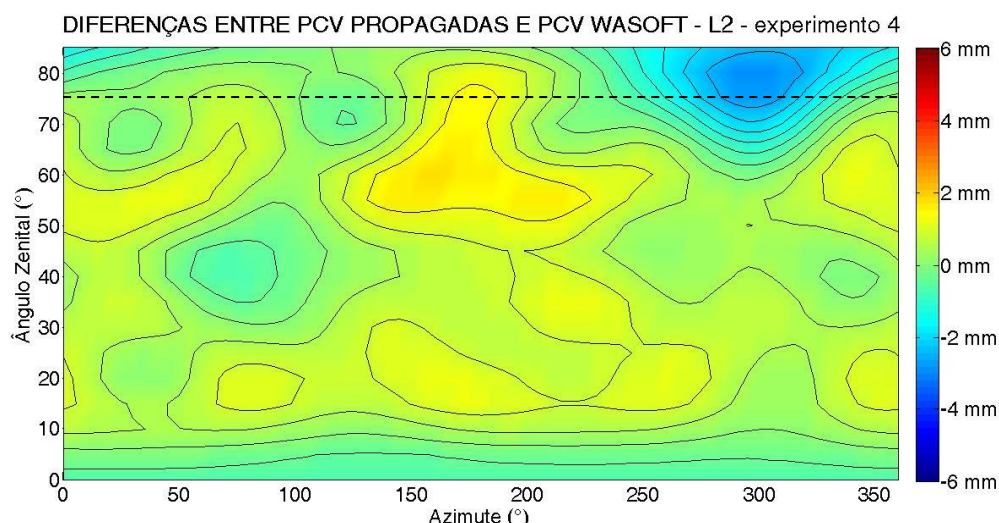


FIGURA 31 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 4

Considerando a onda portadora L2, as discrepâncias máximas assumem valor de 1,5 mm e ocorrem na região compreendida entre os ângulos zenitais de 50° e 70°, no intervalo entre os azimutes de 130° e 230°.

As coordenadas do Pilar 2000 obtidas com a utilização de diferentes parâmetros são apresentadas na TABELA 8.

TABELA 8 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 4

Pilar 2000 – Experimento 4					
Parâm.	latitude	longitude	altitude elips.	Norte (m)	Este (m)
WaSoft	25°26'54,88210"	49°13'52,22853"	927,2703 m	7184200,3676	677856,1000
Propag.	25°26'54,88209"	49°13'52,22853"	927,2720 m	7184200,3679	677856,1000
NGS	25°26'54,88209"	49°13'52,22854"	927,2697 m	7184200,3680	677856,0998
S/ parâm.	25°26'54,88210"	49°13'52,22854"	927,2545 m	7184200,3676	677856,0998

Ainda que os parâmetros PCVs propagados para a onda portadora L1 apresentem discrepâncias maiores abrangendo uma região também maior quando comparados aos parâmetros propagados para a onda portadora L2, FIGURAS 31 e

32, as coordenadas obtidas para o Pilar 2000 apresentam uma diferença de 0,3 mm na coordenada UTM Norte em relação às coordenadas obtidas com parâmetros próprios. Para a coordenada altitude, a diferença alcança o valor de 1,7 mm. Com o emprego dos parâmetros NGS, as coordenadas planimétricas apresentam diferenças de 0,4 mm na coordenada Norte e de 0,2 mm na coordenada Este. Na coordenada altitude, a diferença é de 0,6 mm. Sem a utilização de parâmetros PCOs e PCVs, a coordenada UTM Este apresenta uma discrepância de 0,2 mm enquanto que a diferença na altitude apresenta o valor de 15,8 mm.

## 5.5 EXPERIMENTO 5

O experimento 5 utiliza a campanha 1 como primária e a campanha 2 como secundária. A data final de propagação é dia 28/09/2011, coincidindo com a data da campanha 11. As informações referentes ao experimento 5 são apresentadas no QUADRO 13.

Experimento 5			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
<b>Campanha</b>	<b>Data</b>	<b>Início DJM</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Primária</b>	12/05/2011	55693,79479167	0,69	- 1,25	62,70	0,07	0,68	63,12
<b>Secundária</b>	13/05/2011	55694,81510417	0,66	- 1,32	62,69	- 0,10	0,68	62,99
<b>Data final de propagação = 28/09/2011 – 55831,74791667 DJM</b>								

QUADRO 13 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 5

Os parâmetros PCOs propagados para o experimento 5 são apresentados e comparados aos parâmetros calibrados para a campanha 11 na TABELA 9.

TABELA 9 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 5

Experimento 5		PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
<b>Parâmetros</b>		<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Propagados</b>		0,63	- 1,38	62,57	- 0,25	0,68	62,76
<b>Calibrados</b>		1,20	- 0,80	62,98	- 0,41	0,48	63,19
<b>Diferença</b>		- 0,57	- 0,58	- 0,41	0,16	0,20	- 0,43



A maior diferença entre as componentes do vetor PCO propagado e calibrado aparece para a componente Este, para a onda portadora L2, e apresenta o valor de 0,58 mm.

Com os vetores PCOs propagados podem ser determinadas as PCVs propagadas. A comparação das PCVs propagadas com as PCVs calibradas, considerando a onda portadora L1, são apresentadas no gráfico da FIGURA 32.

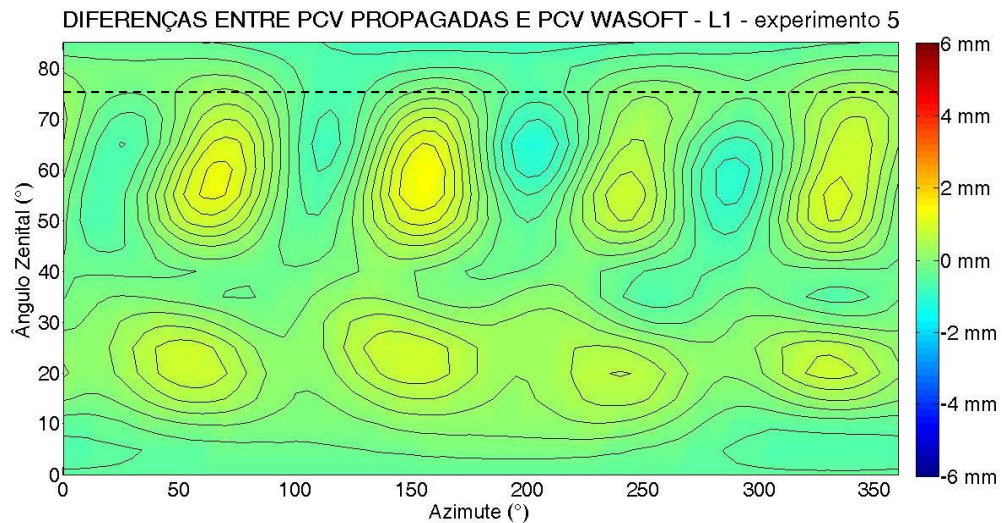


FIGURA 32 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 5

A maior diferença possui um valor de 1,2 mm e ocorre na região próxima ao ângulo zenital de 55° e azimute 150°.

As diferenças, considerando a onda portadora L2, são apresentadas no gráfico da FIGURA 33.

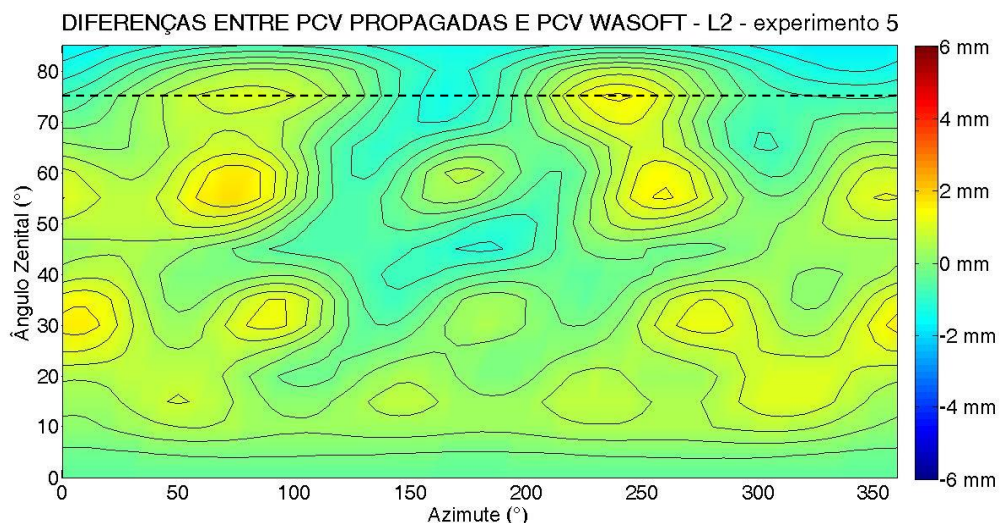


FIGURA 33 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 5

Para a onda portadora L2, as diferenças máximas chegam a 1,5 mm e também ocorrem para o ângulo zenital de 55°, porém, próximas ao azimute de 75°.

Os parâmetros propagados na realização do experimento 5 são empregados na determinação das coordenadas do Pilar 2000, que também são determinadas com o emprego dos parâmetros próprios, parâmetros estabelecidos pelo NGS e determinadas sem a utilização de parâmetros PCOs e PCVs. As coordenadas determinadas em cada caso são apresentadas na TABELA 10.

TABELA 10 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 5

<b>Pilar 2000 – Experimento 5</b>					
<b>Parâm.</b>	<b>latitude</b>	<b>longitude</b>	<b>altitude elips.</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>
WaSoft	25°26'54,88209"	49°13'52,22853"	927,2703 m	7184200,3679	677856,1000
Propag.	25°26'54,88208"	49°13'52,22853"	927,2710 m	7184200,3683	677856,1000
NGS	25°26'54,88208"	49°13'52,22854"	927,2703 m	7184200,3683	677856,0998
S/ parâm.	25°26'54,88210"	49°13'52,22854"	927,2553 m	7184200,3676	677856,0998

Considerando as coordenadas obtidas com os parâmetros WaSoft como referência, e comparando as coordenadas planimétricas, a maior diferença, 0,4 mm, ocorre para a coordenada Norte quando são aplicados tanto os parâmetros propagados quanto os parâmetros fornecidos pelo NGS. Na comparação da coordenada altitude, o emprego dos parâmetros propagados resultam em uma discrepância de 0,7 mm, ao passo que a aplicação dos parâmetros NGS não produz diferença possível de ser constatada pela precisão da medida. Para o caso das coordenadas obtidas sem a aplicação de parâmetros, a discrepância em altitude é de 15 mm.

## 5.6 EXPERIMENTO 6

As campanhas utilizadas como primária e secundária pelo experimento 6 são as campanhas de calibração 4 e 5, respectivamente. As condições iniciais são propagadas até a data da campanha de calibração 11, 28/09/2011. As informações referentes ao experimento 6 são mostradas no QUADRO 14.

Experimento 6			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
<b>Campanha</b>	<b>Data</b>	<b>Início DJM</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Primária</b>	30/08/2011	55803,80538194	1,89	- 0,30	65,52	- 0,77	0,46	64,36
<b>Secundária</b>	01/09/2011	55805,54531250	1,45	- 0,29	63,85	- 0,55	0,31	63,95
<b>Data final de propagação = 28/09/2011 – 55831,74791667 DJM</b>								

QUADRO 14 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 6

As componentes propagadas do vetor PCO, tanto para a onda portadora L1 quanto para a onda portadora L2, são comparadas às componentes dos vetores PCOs da campanha 11, como indica a TABELA 11.

TABELA 11 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 6

Experimento 6	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
<b>Parâmetros</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Propagados</b>	1,76	- 0,30	64,95	- 0,71	0,42	64,14
<b>Calibrados</b>	1,20	- 0,80	62,98	- 0,41	0,48	63,19
<b>Diferença</b>	0,56	0,50	1,97	- 0,30	- 0,06	0,95

Uma diferença pouco menor a 2 mm aparece na componente Vertical do vetor PCO para a onda portadora L1. Para as outras componentes as diferenças ficam abaixo de 1 mm. Os parâmetros PCOs propagados determinam os parâmetros PCVs propagados que comparados às PCVs calibradas resultam nas diferenças apresentadas no gráfico da FIGURA 34, para a onda portadora L1.

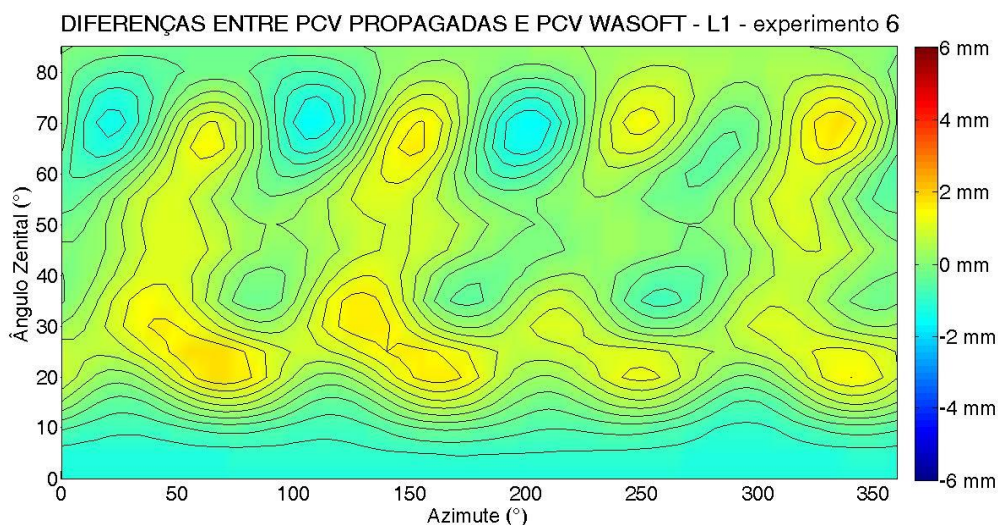


FIGURA 34 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 6

No gráfico que representa as diferenças para a onda portadora L1, nota-se que as maiores diferenças, alcançam valores próximos a 1,7 mm, para a região de ângulo zenital de 20° e azimute de 70°.

As diferenças entre as PCVs propagadas e calibradas para a onda portadora L2 são apresentadas no gráfico da FIGURA 35.

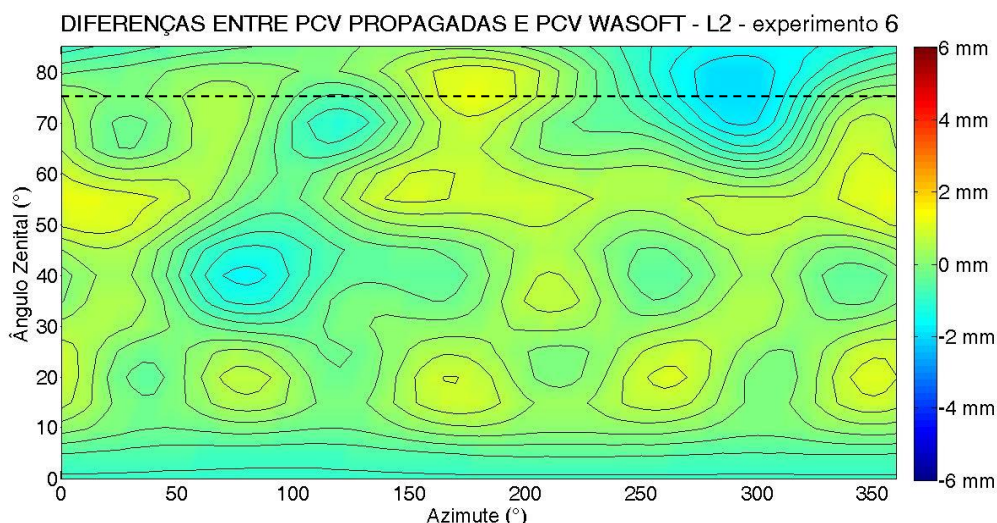


FIGURA 35 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 6

No caso da onda portadora L2, as maiores discrepâncias assumem valores aproximados de 1,5 mm para a região de ângulo zenital 70° e azimute de 300°.

As coordenadas do Pilar 2000 determinadas com a aplicação dos parâmetros propagados, parâmetros próprios, NGS e sem a aplicação de parâmetros são apresentadas na TABELA 12.

TABELA 12 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 6

<b>Pilar 2000 – Experimento 6</b>					
<b>Parâm.</b>	<b>latitude</b>	<b>longitude</b>	<b>altitude elips.</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>
WaSoft	25°26'54,88209"	49°13'52,22853"	927,2703 m	7184200,3679	677856,1000
Propag.	25°26'54,88209"	49°13'52,22854"	927,2692 m	7184200,3680	677856,0998
NGS	25°26'54,88208"	49°13'52,22854"	927,2703 m	7184200,3683	677856,0998
S/ parâm.	25°26'54,88210"	49°13'52,22854"	927,2553 m	7184200,3676	677856,0998

Considerando as coordenadas UTM, nota-se que os parâmetros estabelecidos pelo NGS são os que produzem a maior discrepância, na coordenada Norte, no valor de 0,4 mm. Na coordenada Este, o emprego de parâmetros

diferentes dos parâmetros próprios, tomados como referência, produzem discrepâncias de 0,2 mm. Considerando a coordenada altitude, percebe-se que a diferença entre o valor obtido pela aplicação dos parâmetros propagados e o determinado com a aplicação dos parâmetros WaSoft é de 1,1 mm, em valores absolutos, enquanto que a aplicação dos parâmetros NGS não produz diferença perceptível. Na determinação da altitude sem a aplicação de parâmetros PCOs e PCVs, a diferença atinge o valor de 15 mm.

## 5.7 EXPERIMENTO 7

O experimento 7 utiliza como campanha primária a campanha de calibração 5 e como campanha secundária a campanha de calibração 6. A data de final de propagação é 28/09/2011, data da campanha 11. As informações sobre o experimento 7 são apresentadas no QUADRO 15.

Experimento 7			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Campanha	Data	Início DJM	N	E	H	N	E	H
Primária	01/09/2011	55805,54531250	1,45	- 0,29	63,85	- 0,55	0,31	63,95
Secundária	02/09/2011	55806,60694444	1,56	- 0,24	63,22	- 0,75	0,30	63,56
Data final de propagação = 28/09/2011 – 55831,74791667 DJM								

QUADRO 15 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 7

As componentes do vetor PCO propagado são calculadas e comparadas às componentes do vetor PCO calibrado pela campanha 11, como mostrado pela TABELA 13.

TABELA 13 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 7

Experimento 7	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Parâmetros	N	E	H	N	E	H
Propagados	1,65	- 0,20	62,84	- 0,91	0,29	63,37
Calibrados	1,20	- 0,80	62,98	- 0,41	0,48	63,19
Diferença	0,45	0,60	- 0,14	- 0,50	- 0,19	0,18



Na comparação entre as componentes dos vetores PCOs propagados e calibrados, para o experimento 7, as diferenças permaneceram abaixo de 1 mm. Os parâmetros PCVs associados ao vetor PCO propagado para a onda portadora L1 são comparados aos da campanha 11 e as diferenças são apresentadas no gráfico da FIGURA 36.

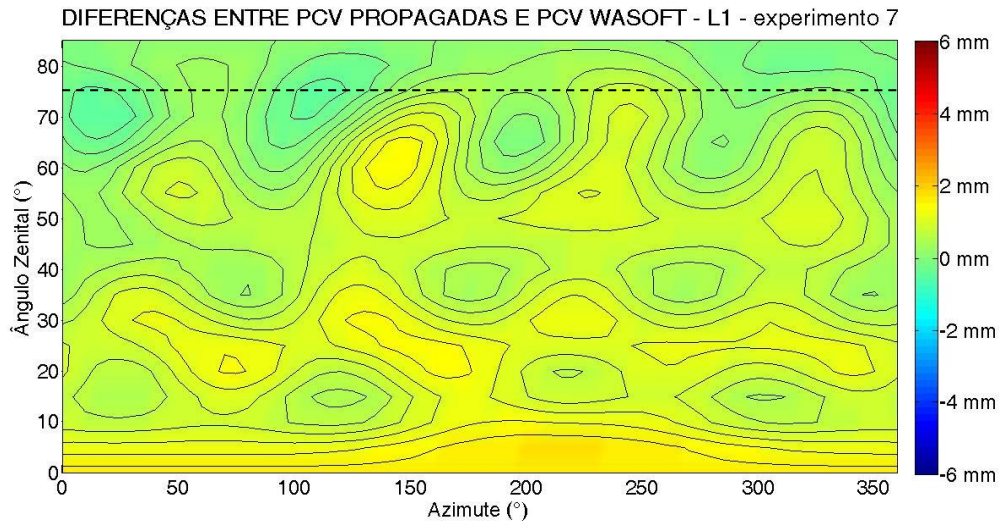


FIGURA 36 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 7

No gráfico que representa a onda portadora L1, nota-se que a maior diferença assume um valor aproximado de 1,5 mm e ocorre para o ângulo zenital de 5°, entre os azimutes de 180° e 250°.

Os parâmetros PCVs propagados para a onda portadora L2, quando comparados com os parâmetros PCVs calibrados, resultam nas diferenças representadas pelo gráfico da FIGURA 37.

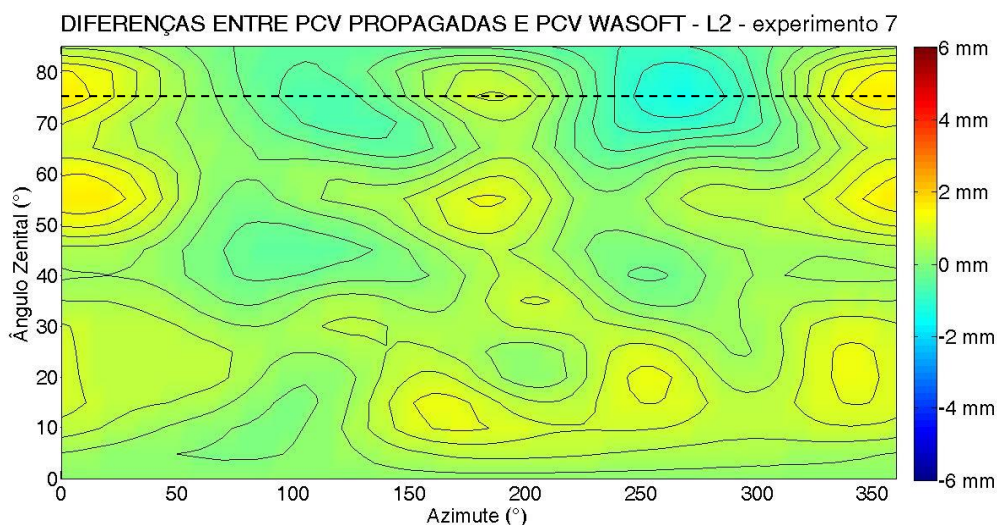


FIGURA 37 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 7

Para a onda portadora L2, as diferenças entre as PCVs propagadas e calibradas pela campanha 11 atingem valores próximos a 1,5 mm para o ângulo zenital próximo de 55°, entre os azimutes de 0° e 30°.

As coordenadas do Pilar 2000 determinadas com a aplicação os parâmetros PCOs e PCVs propagados são apresentadas na TABELA 14, também são apresentadas as coordenadas determinadas com a aplicação dos parâmetros calibrados, parâmetros NGS e quando não há aplicação de parâmetros PCOs e PCVs.

TABELA 14 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 7

Pilar 2000 – Experimento 7					
Parâm.	Latitude	longitude	altitude elips.	Norte (m)	Este (m)
WaSoft	25°26'54,88209"	49°13'52,22853"	927,2703 m	7184200,3679	677856,1000
Propag.	25°26'54,88209"	49°13'52,22854"	927,2711 m	7184200,3680	677856,0998
NGS	25°26'54,88208"	49°13'52,22854"	927,2703 m	7184200,3683	677856,0998
S/ parâm.	25°26'54,88210"	49°13'52,22854"	927,2553 m	7184200,3676	677856,0998

As coordenadas do Pilar 2000 determinadas pelo experimento 7 diferem das coordenadas determinadas pelo experimento 6 apenas no valor da altitude para o emprego dos parâmetros propagados. A diferença atinge o valor de 0,8 mm em relação às coordenadas tomadas como referências.

## 5.8 EXPERIMENTO 8

A campanha primária utilizada no experimento 8 é a campanha 5 e a campanha 8 é definida como campanha secundária, a data final de propagação também é o dia 28/09/2014, data da campanha de calibração 11. O QUADRO 16 apresenta as informações sobre o experimento 8.

Experimento 8			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Campanha	Data	Início DJM	N	E	H	N	E	H
<b>Primária</b>	01/09/2011	55805,54531250	1,45	- 0,29	63,85	- 0,55	0,31	63,95
<b>Secundária</b>	05/09/2011	55809,54409722	1,51	- 0,16	63,36	- 0,66	0,23	63,86
<b>Data final de propagação = 28/09/2011 – 55831,74791667 DJM</b>								

QUADRO 16 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 8

Os parâmetros PCOs são propagados para a data final e comparados aos parâmetros próprios da antena. Os valores dos parâmetros e a comparação com os valores calibrados para a campanha do dia 28/09/2014 são apresentados na TABELA 15.

TABELA 15 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 8

Experimento 8	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Parâmetros	N	E	H	N	E	H
<b>Propagados</b>	1,56	- 0,06	63,03	- 0,75	0,17	63,85
<b>Calibrados</b>	1,20	- 0,80	62,98	- 0,41	0,48	63,19
<b>Diferença</b>	0,36	0,74	0,05	- 0,34	- 0,31	0,66

A maior discrepância entre as componentes de ambos os vetores PCOs ocorre para a componente Este considerando a onda portadora L1.

Ao vetor PCO propagado são associadas as PCVs propagadas que comparadas às PCVs calibradas produzem as diferenças apresentadas pelo gráfico da FIGURA 38, levando-se em conta a onda portadora L1.



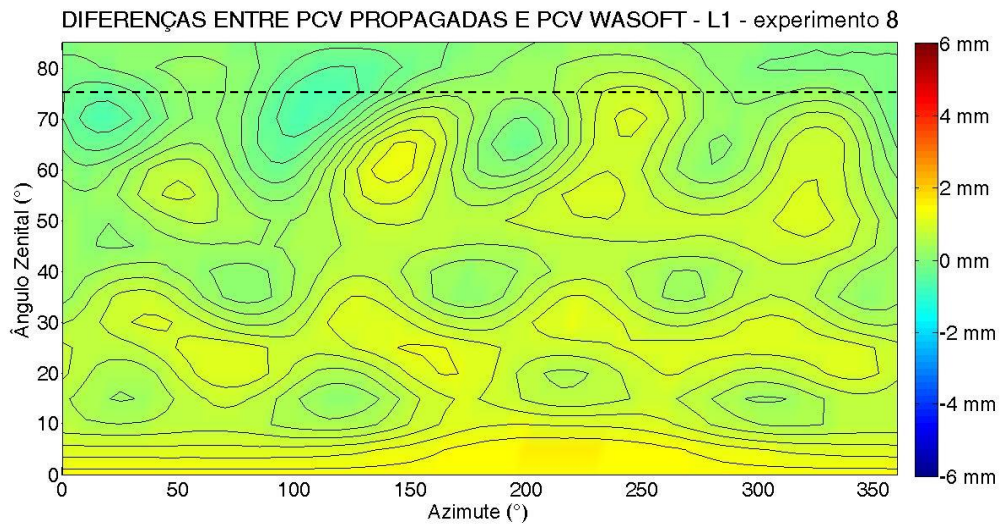


FIGURA 38 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 8

Para onda portadora L1, as diferenças atingem o valor máximo de 1,3 mm nas regiões próximas ao ângulo zenital de 5°, entre os azimutes de 180° e 250°.

As diferenças entre as PCVs associadas ao vetor PCO propagado e as PCVs associadas ao PCO calibrado pela campanha 11, considerando a onda portadora L2, são apresentadas no gráfico da FIGURA 39.

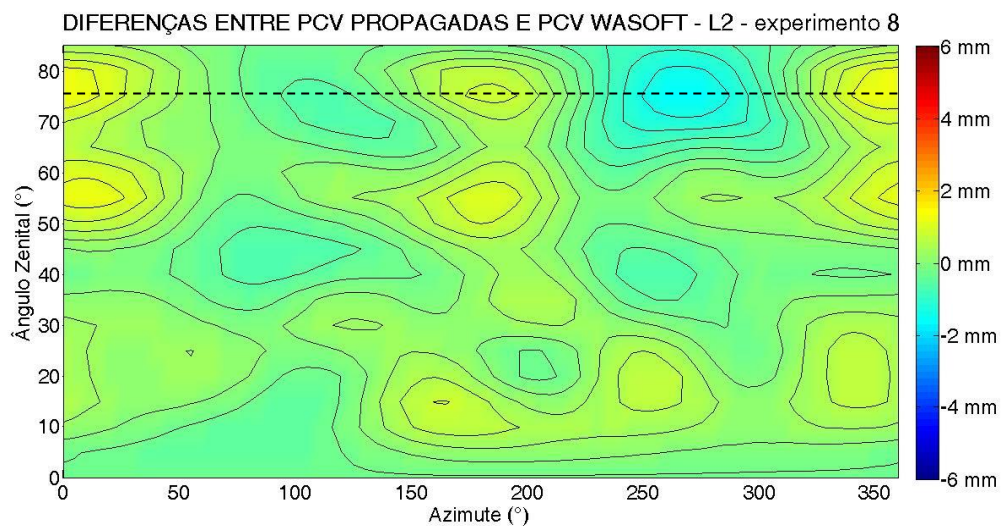


FIGURA 39 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 8

Levando-se em conta a onda portadora L2, as diferenças alcançam o valor aproximado de 1 mm para o ângulo zenital de 55°, no intervalo entre os azimutes de 0° e 25°.

As coordenadas determinadas para o Pilar 2000 com o emprego dos vários parâmetros são apresentadas na TABELA 16.

TABELA 16 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 8

<b>Pilar 2000 – Experimento 8</b>					
<b>Parâm.</b>	<b>latitude</b>	<b>longitude</b>	<b>altitude elips.</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>
WaSoft	25°26'54,88209"	49°13'52,22853"	927,2703 m	7184200,3679	677856,1000
Propag.	25°26'54,88208"	49°13'52,22854"	927,2710 m	7184200,3683	677856,0998
NGS	25°26'54,88208"	49°13'52,22854"	927,2703 m	7184200,3683	677856,0998
S/ parâm.	25°26'54,88210"	49°13'52,22854"	927,2553 m	7184200,3676	677856,0998

As coordenadas planimétricas determinadas com o emprego dos parâmetros propagados resultam em uma discrepância de 0,4 mm para a coordenada Norte e em 0,2 mm na coordenada Este quando comparadas às coordenadas obtidas com a aplicação dos parâmetros próprios da antena. As mesmas discrepâncias são alcançadas com a utilização dos parâmetros NGS. Em relação à coordenada altitude, uma diferença de 0,7 mm ocorre quando são aplicados os parâmetros propagados. Não há diferença para a altitude determinada com os parâmetros NGS. Sem a aplicação dos parâmetros, as diferenças alcançadas são as maiores, tanto nas coordenadas UTM como na coordenada altitude.

## 5.9 EXPERIMENTO 9

Definem-se como campanha primária e secundária as campanhas de calibração 5 e 6, respectivamente. A data final de propagação coincide com a data da campanha de calibração 12, realizada no dia 01/10/2011.

As informações referentes ao experimento 9 são apresentadas no QUADRO 17.

Experimento 9			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Campanha	Data	Início DJM	N	E	H	N	E	H
Primária	01/09/2011	55805,54531250	1,45	- 0,29	63,85	- 0,55	0,31	63,95
Secundária	02/09/2011	55806,60694444	1,56	- 0,24	63,22	- 0,75	0,30	63,56
Data final de propagação = 01/10/2011 – 55835,72048611 DJM								

QUADRO 17 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 9

As componentes do vetor PCO são propagadas a partir da data da campanha primária até a data final. O resultado é comparado aos valores determinados pela campanha de calibração 12 e apresentados na TABELA 17.

TABELA 17 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 9

Experimento 9	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Parâmetros	N	E	H	N	E	H
Propagados	1,48	- 0,28	63,84	- 0,60	0,31	64,00
Calibrados	1,21	- 0,97	64,38	- 0,41	0,45	63,97
Diferença	0,27	0,69	- 0,54	- 0,19	- 0,14	0,03

A maior diferença ocorre na comparação entre as componentes Este do vetores PCOs para a onda portadora L1, alcançando o valor de 0,69 mm.

Os parâmetros PCVs associados ao vetor PCO propagado, levando em conta a onda portadora L1 são comparados aos parâmetros PCVs calibrados para data final de propagação, as discrepâncias são apresentadas no gráfico da FIGURA 40.

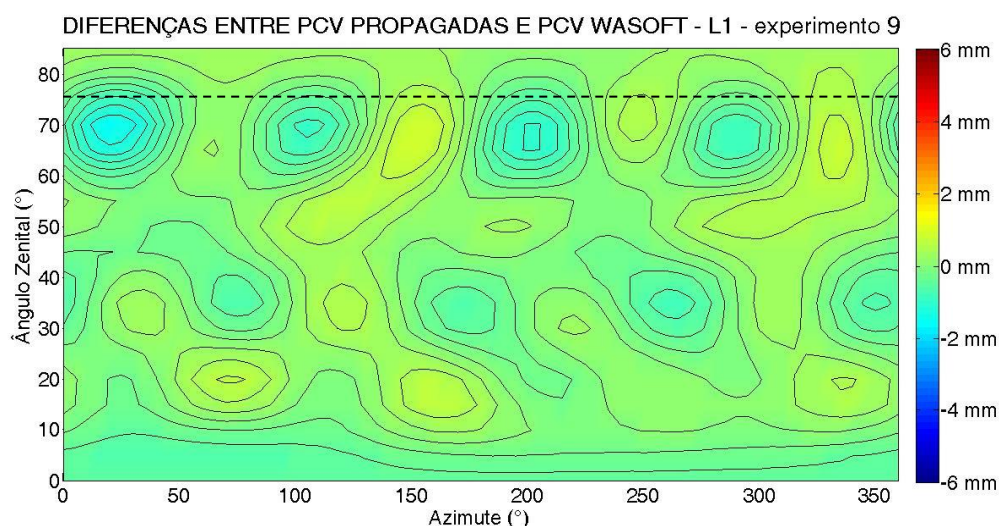


FIGURA 40 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 9

No gráfico que considera a onda portadora L1, as maiores diferenças atingem valores próximos 1,2 mm e ocorrem para o ângulo zenital de 70°, entre os azimutes de 10° a 40°.

Considerando a onda portadora L2, as diferenças entre as PCVs propagadas e calibradas são apresentadas no gráfico da FIGURA 41.

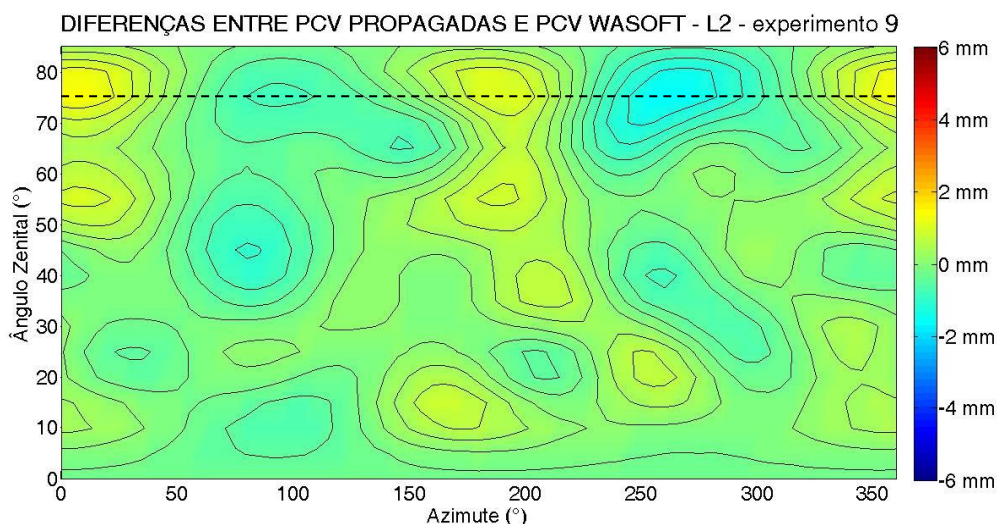


FIGURA 41 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 9

Para a onda portadora L2, as diferenças máximas atingem valores a 1,3 mm para o ângulo zenital de 75° (ângulo zenital de corte), entre os azimutes de 250° e 290°.

As coordenadas do Pilar 2000 determinadas com a utilização de diferentes parâmetros são apresentadas na TABELA 18.

TABELA 18 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 9

Pilar 2000 – Experimento 9					
Parâm.	latitude	longitude	altitude elips.	Norte (m)	Este (m)
WaSoft	25°26'54,88214"	49°13'52,22855"	927,2701 m	7184200,3664	677856,0995
Propag.	25°26'54,88214"	49°13'52,22856"	927,2706 m	7184200,3664	677856,0992
NGS	25°26'54,88213"	49°13'52,22856"	927,2713 m	7184200,3667	677856,0992
S/ parâm.	25°26'54,88214"	49°13'52,22856"	927,2561 m	7184200,3664	677856,0992

Considerando as coordenadas UTM, uma discrepância de 0,3 mm apenas na coordenada Este ocorre quando são empregados parâmetros propagados e

quando não há aplicação de parâmetros PCOs e PCVs. Empregando-se os parâmetros NGS, a diferença atinge o valor de 0,3 mm em ambas as coordenadas.

Para a coordenada altitude, percebe-se uma diferença de 0,5 mm quando empregam-se os parâmetros propagados; 1,2 mm quando empregam-se os parâmetros NGS e de 14 mm para o caso em que as coordenadas são determinadas sem o emprego de parâmetros.

Nos experimentos de 10 a 12 são determinadas as coordenadas geodésicas e UTM do ponto denominado de Ponto 1.

## 5.10 EXPERIMENTO 10

Definem-se as campanhas de calibração 5 e 7 como as campanhas primária e secundária, respectivamente. A data final de propagação é 17/02/2012. As informações referentes ao experimento 10 são apresentadas no QUADRO 18.

Experimento 10			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
<b>Campanha</b>	<b>Data</b>	<b>Início DJM</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Primária</b>	01/09/2011	55805,54531250	1,45	- 0,29	63,85	- 0,55	0,31	63,95
<b>Secundária</b>	03/09/2011	55807,87100694	1,39	- 0,19	63,59	- 0,73	0,30	63,65
<b>Data final de propagação = 17/02/2012 – 55974,42413194 DJM</b>								

QUADRO 18 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 10

As componentes do vetor PCO são propagadas e comparadas às componentes do vetor PCO calibrado em campanha realizada em 03/04/2012. Os resultados são apresentados na TABELA 19.

TABELA 19 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 10

Experimento 10	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Propagados</b>	1,34	- 0,10	63,28	- 0,88	0,29	63,31
<b>Calibrados</b>	1,42	- 0,54	63,55	- 0,52	0,34	64,50
<b>Diferença</b>	- 0,08	0,44	- 0,27	- 0,36	- 0,05	- 1,19



A maior diferença, no valor de 1,19 mm, ocorre na componente Vertical do vetor PCO para a onda portadora L2.

Os parâmetros PCVs propagados para a data final de propagação, considerando a onda portadora L1, são comparados aos parâmetros PCVs calibrados. As diferenças são apresentadas no gráfico da FIGURA 42.

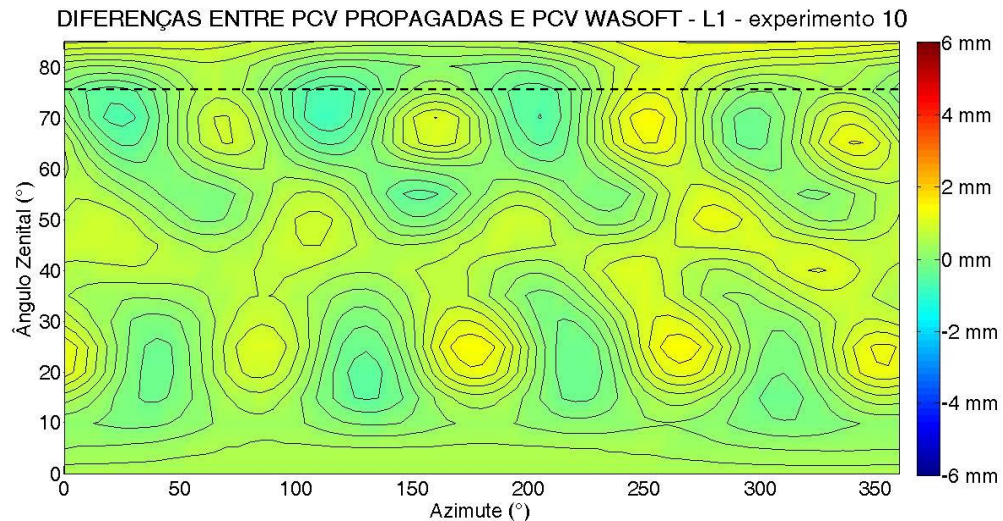


FIGURA 42 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 10

No caso da onda portadora L1, as maiores diferenças alcançam os valores aproximados de 1,2 mm para a região do ângulo zenital de 25° entre os azimutes de 170° e 190°.

As diferenças entre as PCVs propagadas e calibradas, considerando a onda portadora L2, são apresentadas no gráfico da FIGURA 43.

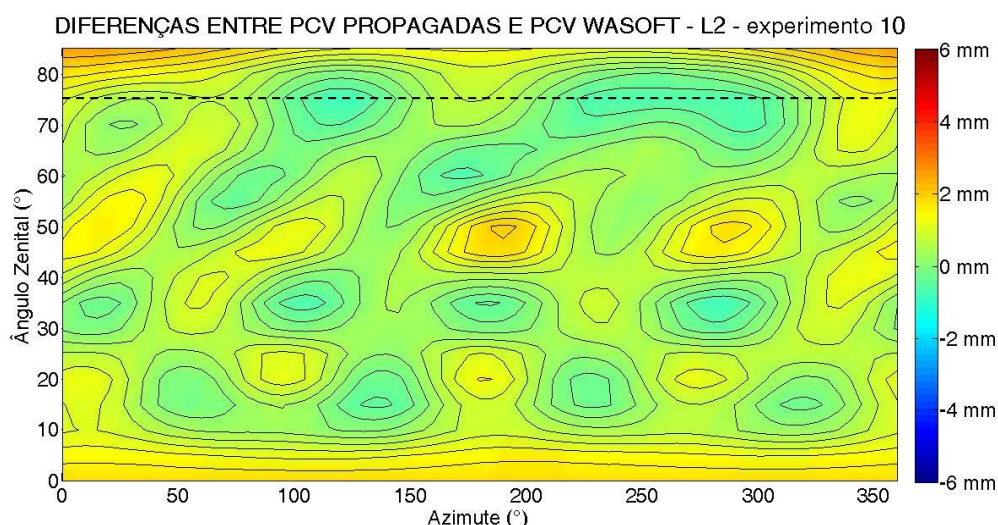


FIGURA 43 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 10

Para a onda portadora L2, as maiores discrepâncias, com valores em torno de 1,7 mm, localizam-se próximas ao ângulo zenital de 50° e azimute de 180°.

As coordenadas determinadas para o Ponto 1, empregando-se diferentes parâmetros são apresentadas na TABELA 20.

TABELA 20 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 1 – EXPERIMENTO 10

Ponto 1 – Experimento 10					
Parâm.	latitude	longitude	altitude elips.	Norte (m)	Este (m)
WaSoft	25°32'01,78389"	49°12'16,22578"	903,5090 m	7174721,2764	680410,6740
Propag.	25°32'01,78388"	49°12'16,22579"	903,5102 m	7174721,2767	680410,6737
NGS	25°32'01,78388"	49°12'16,22579"	903,5096 m	7174721,2767	680410,6737
S/ parâm.	25°32'01,78389"	49°12'16,22578"	903,4940 m	7174721,2764	680410,6740

Considerando as coordenadas UTM, empregando-se tanto os parâmetros propagados quanto os parâmetros NGS implica em uma diferença de 0,3 mm tanto na coordenada Norte como na coordenada Este. As coordenadas obtidas sem a aplicação de parâmetros PCOs e PCVs não apresentam discrepâncias quando comparadas às coordenadas UTM obtidas com os parâmetros próprios (WaSoft).

Comparando as altitudes elipsoidais, o emprego dos parâmetros propagados resulta em uma discrepância de 1,2 mm em relação ao valor obtido com os parâmetros próprios. Uma diferença de 0,6 mm ocorre quando empregam-se os parâmetros NGS e uma diferença de 15 mm para quando não são aplicados quaisquer parâmetros PCOs e PCVs.

### 5.11 EXPERIMENTO 11

Para a realização do experimento 11, as campanhas de calibração 5 e 9 são utilizadas como campanha primária e secundária, respectivamente. A data final de propagação é o dia 17/03/2012. As informações sobre o experimento 11, são apresentadas no QUADRO 19.

Experimento 11			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
<b>Campanha</b>	<b>Data</b>	<b>Início DJM</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Primária</b>	01/09/2011	55805,54531250	1,45	- 0,29	63,85	- 0,55	0,31	63,95
<b>Secundária</b>	26/09/2011	55830,63020833	1,52	- 0,08	62,94	- 0,63	0,17	63,26
<b>Data final de propagação = 17/02/2012 – 55974,42413194 DJM</b>								

QUADRO 19 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 11

Propagam-se os valores iniciais dos parâmetros PCOs até a data final de propagação e comparam-se com os parâmetros calibrados para a data de 03/04/2012. Os resultados são apresentados na TABELA 21.

TABELA 21 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 11

Experimento 11	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
<b>Parâmetros</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Propagados</b>	1,54	- 0,02	62,65	- 0,65	0,13	63,03
<b>Calibrados</b>	1,42	- 0,54	63,55	- 0,52	0,34	64,50
<b>Diferença</b>	0,12	0,52	- 0,90	- 0,13	- 0,21	- 1,47

A maior discrepância, no valor de 1,47 mm, é apresentada na comparação entre as componentes verticais para a onda portadora L2. As diferenças mantêm-se abaixo de 1 mm na comparação das demais componentes.

Os parâmetros PCVs associados ao vetor PCO propagado são calculados e comparados aos parâmetros calibrados para 03/04/2012. As diferenças entre as PCVs propagadas e as PCVs calibradas, levando em conta a onda portadora L1, são apresentadas no gráfico da FIGURA 44.



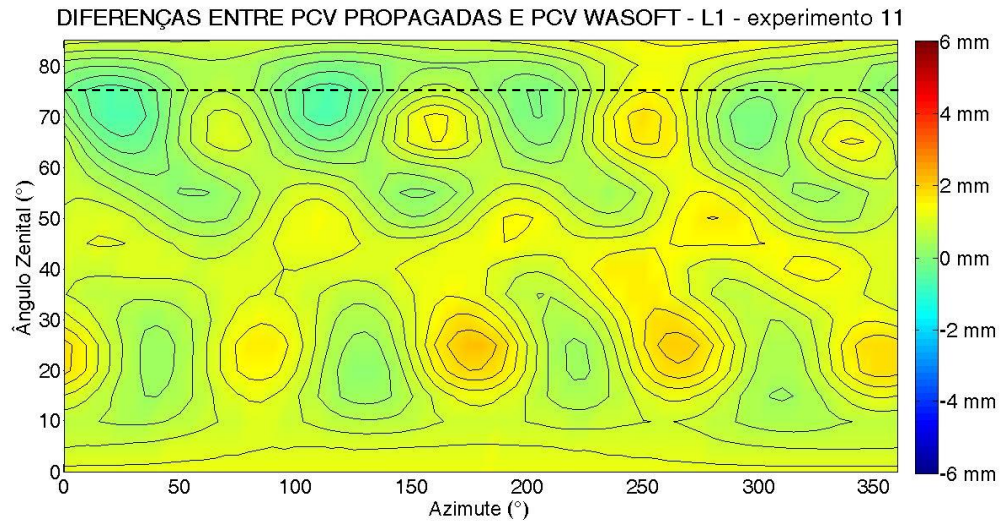


FIGURA 44 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 11

Para a onda portadora L1, as maiores diferenças atingem o valor de 1,7 mm e ocorrem para a região em torno do ângulo zenital de 25° e azimuth de 175°.

As diferenças entre as PCVs propagadas e as PCVs calibradas, considerando a onda portadora L2, são apresentadas no gráfico da FIGURA 45.

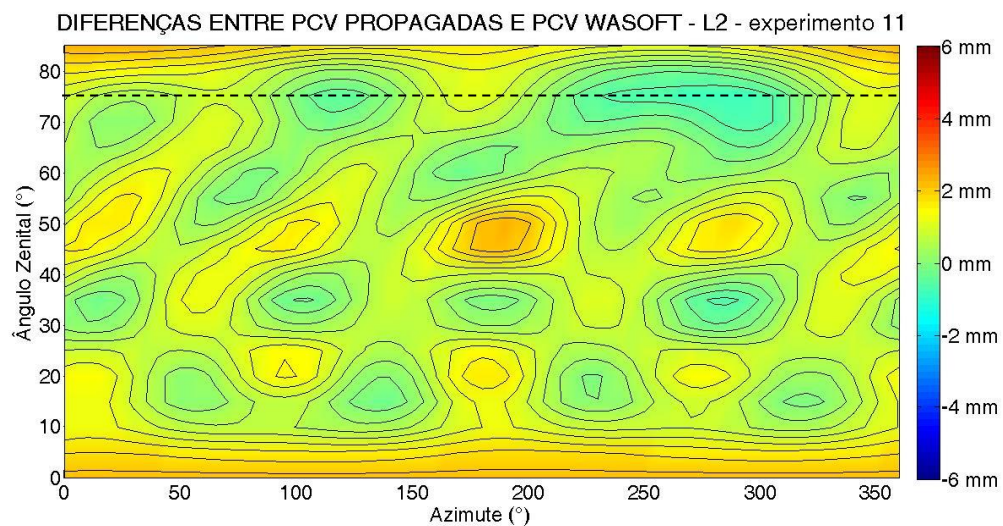


FIGURA 45 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 11

Para a onda portadora L2, as maiores diferenças chegam a 2 mm para o intervalo entre os ângulos zenitais de 40° e 50° e azimuth próximo a 180°.

As coordenadas do Ponto 1 determinadas pela realização do experimento 11, empregando diferentes parâmetros são apresentadas na TABELA 22.

TABELA 22 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 1 – EXPERIMENTO 11

<b>Ponto 1 – Experimento 11</b>					
<b>Parâm.</b>	<b>latitude</b>	<b>longitude</b>	<b>altitude elips.</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>
WaSoft	25°32'01,78389"	49°12'16,22578"	903,5090 m	7174721,2764	680410,6740
Propag.	25°32'01,78390"	49°12'16,22579"	903,5111 m	7174721,2761	680410,6737
NGS	25°32'01,78388"	49°12'16,22579"	903,5096 m	7174721,2767	680410,6737
S/ parâm.	25°32'01,78389"	49°12'16,22578"	903,4940 m	7174721,2764	680410,6740

Em relação às coordenadas UTM, verifica-se que o emprego dos parâmetros propagados produzem diferenças de 0,3 mm tanto na coordenada Norte quanto na coordenada Este. A mesma discrepância de 0,3 mm é verificada na aplicação dos parâmetros NGS. As coordenadas obtidas sem o emprego de parâmetros PCOs e PCVs não apresentam diferenças em relação às coordenadas determinadas com os parâmetros próprios.

Em relação à coordenada altitude elipsoidal, a aplicação dos parâmetros propagados resultam em uma discrepância de 2,1 mm. Empregando-se os parâmetros NGS, a discrepância é de 0,6 mm. A diferença chega a 15 mm para o caso em não são aplicados os parâmetros PCOs e PCVs.

## 5.12 EXPERIMENTO 12

As campanhas primária e secundária do experimento 12 são as campanhas de calibração 9 e 11, respectivamente. Os dados iniciais são propagados até a data final de propagação de 17/02/2012. As informações sobre o experimento 12 são apresentadas no QUADRO 20.

<b>Experimento 12</b>			<b>PCO L1 (mm)</b>			<b>PCO L2 (mm)</b>		
<b>Campanha</b>	<b>Data</b>	<b>Início DJM</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Primária</b>	26/09/2011	55830,63020833	1,52	– 0,08	62,94	– 0,63	0,17	63,26
<b>Secundária</b>	28/09/2011	55832,74791667	1,20	– 0,8	62,98	– 0,41	0,48	63,19
<b>Data final de propagação = 17/02/2012 – 55974,42413194 DJM</b>								

QUADRO 20 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 12

As componentes propagadas do vetor PCO para a data final de propagação são calculadas e comparadas às componentes do vetor PCO calibrado para 03/04/2012. Os valores são apresentados na TABELA 23.

TABELA 23 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 12

Experimento 12	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
	N	E	H	N	E	H
<b>Propagados</b>	1,44	- 0,26	62,86	- 0,57	0,25	63,15
<b>Calibrados</b>	1,42	- 0,54	63,55	- 0,52	0,34	64,50
<b>Diferença</b>	0,02	0,28	- 0,69	- 0,05	- 0,09	- 1,35

Os parâmetros PCVs propagados são determinados e comparados aos parâmetros PCVs calibrados. O gráfico da FIGURA 46 apresenta as diferenças entre as PCVs propagadas e calibradas para a onda portadora L1.

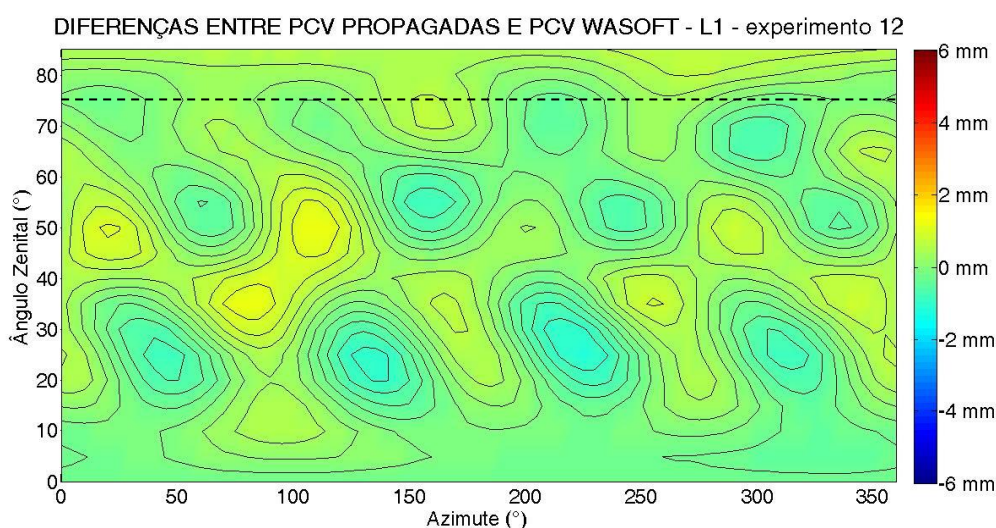


FIGURA 46 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO12

No gráfico que representa a onda portadora L1, as maiores diferenças alcançam o valor de 1 mm e ocorrem para duas regiões: para o ângulo zenital de 25°, próximo ao azimute de 80° e para o ângulo zenital de 50°, próximo ao azimute de 110°.

As diferenças encontradas na comparação em que é considerada a onda portadora L2 são apresentadas no gráfico da FIGURA 47.

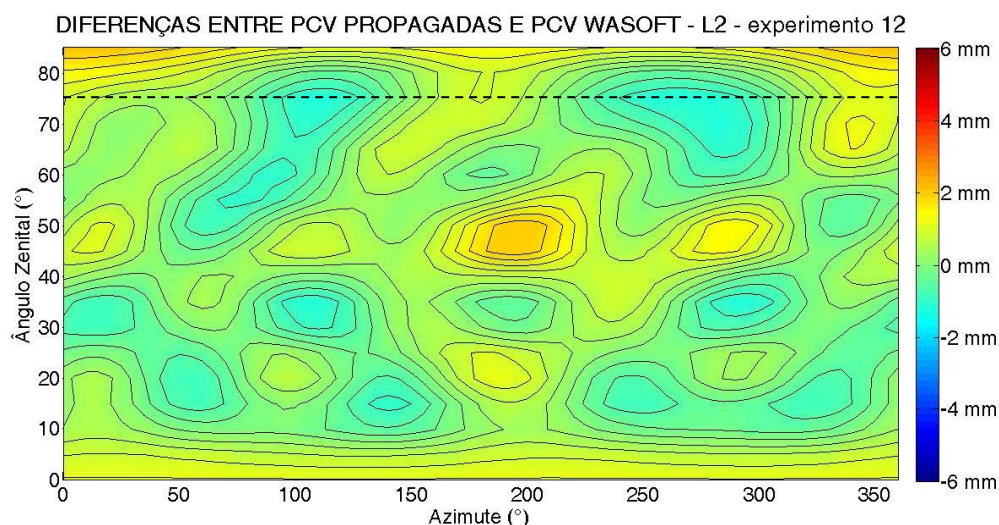


FIGURA 47 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 12

No gráfico que representa a onda portadora L2, nota-se que as discrepâncias máximas atingem valores próximos a 1,7 mm na região entre os ângulos zenitais de 40° e 50°, para azimutes próximos a 200°.

As coordenadas do Ponto 1 determinadas com o emprego de diferentes parâmetros são apresentadas na TABELA 24.

TABELA 24 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 1 – EXPERIMENTO 12

Ponto 1 – Experimento 12					
Parâm.	latitude	longitude	altitude elips.	Norte (m)	Este (m)
WaSoft	25°32'01,78389"	49°12'16,22578"	903,5090 m	7174721,2764	680410,6740
Propag.	25°32'01,78390"	49°12'16,22579"	903,5099 m	7174721,2761	680410,6737
NGS	25°32'01,78388"	49°12'16,22579"	903,5096 m	7174721,2767	680410,6737
S/ parâm.	25°32'01,78389"	49°12'16,22578"	903,4940 m	7174721,2764	680410,6740

Considerando as coordenadas UTM, as discrepâncias são iguais às obtidas no experimento 11: 0,3 mm em ambas as coordenadas Norte e Este, para os parâmetros propagados e estabelecidos pelo NGS. Para o caso em que não são aplicados quaisquer parâmetros PCOs e PCVs, as coordenadas permanecem inalteradas.

Considerando as altitudes elipsoidais, o uso dos parâmetros propagados resulta em uma discrepância de 0,9 mm em relação à altitude determinada com parâmetros WaSoft. Os parâmetros NGS produzem uma discrepância de 0,6 mm e a

altitude elipsoidal obtida sem a aplicação de quaisquer parâmetros PCOs e PCVs produz uma diferença de 15 mm.

### 5.13 EXPERIMENTO 13

Os experimentos de 13 a 17 referem-se à propagações dos parâmetros PCOs que são utilizados na determinação das coordenadas geodésicas e UTM do ponto denominado de Ponto 2 que apresenta uma linha de base de aproximadamente 45 km.

As campanhas de calibração consideradas como campanhas primária e secundária para o experimento 13 são as campanhas 1 e 2, respectivamente. A data final de propagação é 13/02/2012. O QUADRO 21 apresenta as informações das campanhas referentes ao experimento 13.

Experimento 13			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
<b>Campanha</b>	<b>Data</b>	<b>Início DJM</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Primária</b>	12/05/2011	55693,79479167	0,69	- 1,25	62,70	0,07	0,68	63,12
<b>Secundária</b>	13/05/2011	55694,81510417	0,66	- 1,32	62,69	- 0,10	0,68	62,99
<b>Data final de propagação = 13/02/2012 – 55970,47951389 DJM</b>								

QUADRO 21 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 13

As componentes do vetor PCO propagado são apresentadas e comparadas às componentes estabelecidas em campanha de calibração de 03/04/2012. Os valores são apresentados na TABELA 25.

TABELA 25 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 13

Experimento 13	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
<b>Parâmetros</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Propagados</b>	0,69	- 1,26	62,80	0,06	0,68	63,21
<b>Calibrados</b>	1,42	- 0,54	63,55	- 0,52	0,34	64,50
<b>Diferença</b>	- 0,73	- 0,72	- 0,75	0,58	0,34	- 1,29



Os parâmetros PCVs associados aos parâmetros PCOs propagados são comparados aos parâmetros PCVs determinados pela campanha de calibração de 03/04/2012. Os resultados da comparação, considerando a onda portadora L1 são apresentados no gráfico da FIGURA 48.

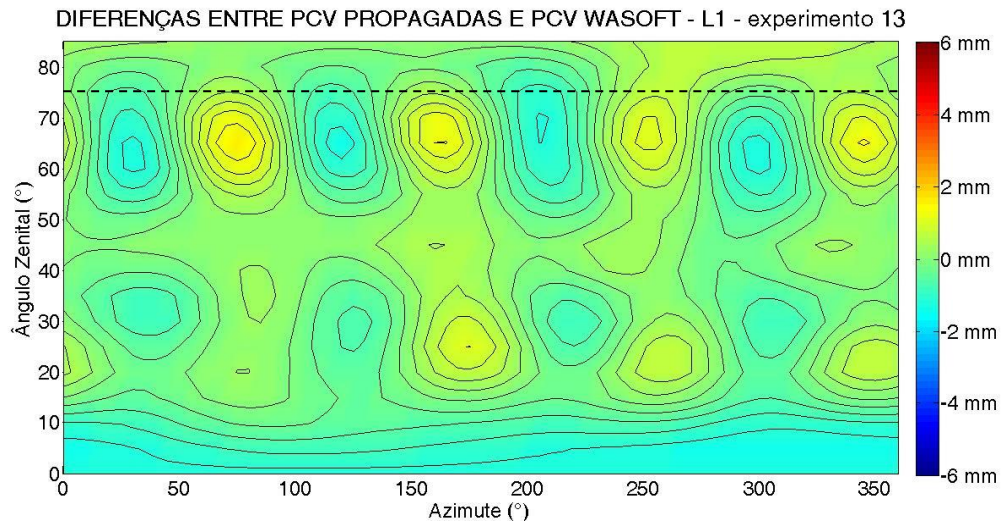


FIGURA 48 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 13

Nota-se que as maiores diferenças atingem valores próximos a 1,2 mm e ocorrem para o ângulo zenital de 65°, na região próxima ao azimute de 75°.

Considerando a onda portadora L2, as diferenças entre as PCVs são apresentadas no gráfico da FIGURA 49.

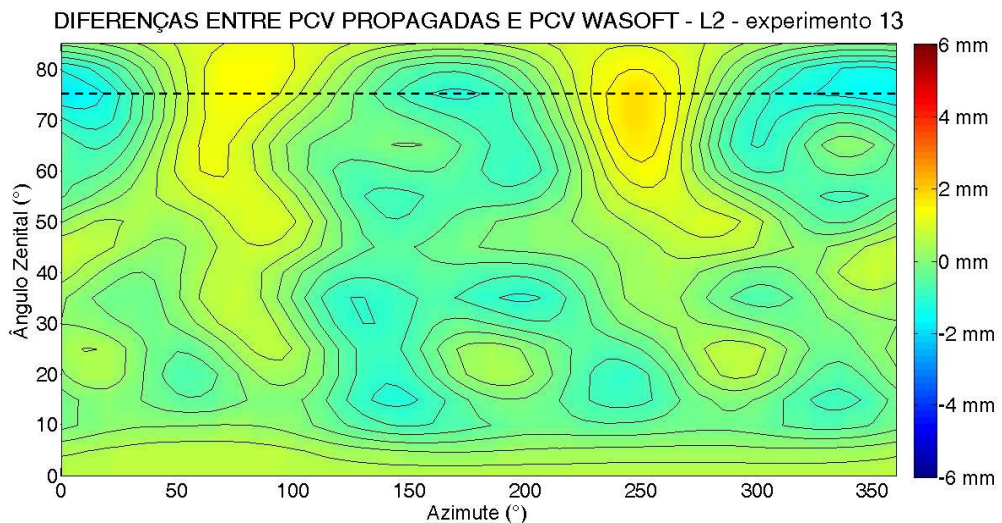


FIGURA 49 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 13

Para a onda portadora L2, as maiores discrepâncias atingem valores próximos a 1,4 mm e estão relacionadas ao ângulo zenital de 70° e ao azimute de 250°.

As coordenadas do Ponto 2, determinadas mediante o emprego de diferentes parâmetros são apresentadas na TABELA 26.

TABELA 26 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 2 – EXPERIMENTO 13

<b>Ponto 2 – Experimento 13</b>					
<b>Parâm.</b>	<b>latitude</b>	<b>longitude</b>	<b>altitude elips.</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>
WaSoft	25°51'51,72810"	49°21'47,36140"	914,5225 m	7138314,0982	664013,1001
Propag.	25°51'51,72809"	49°21'47,36141"	914,5207 m	7138314,0985	664013,0999
NGS	25°51'51,72810"	49°21'47,36142"	914,5221 m	7138314,0982	664013,0996
S/ parâm.	25°51'51,72809"	49°21'47,36139"	914,5032 m	7138314,0985	664013,1004

Comparando as coordenadas UTM, o emprego dos parâmetros propagados gerou diferenças de 0,3 mm e 0,2 mm nas coordenadas Norte e Este, respectivamente. O emprego dos parâmetros NGS produziu uma diferença apenas na coordenada Este de 0,5 mm. Sem o emprego de parâmetros PCOs e PCVs, as diferenças chegam a 0,3 mm tanto para a coordenada Norte quanto para a coordenada Este.

Na comparação entre as altitudes elipsoidais, a aplicação dos parâmetros propagados produz uma diferença de 1,8 mm em relação às coordenadas obtidas com os parâmetros próprios. Para a aplicação dos parâmetros NGS, a diferença alcança o valor de 0,4 mm. Sem a aplicação de parâmetros PCOs e PCVs, a diferença é de 19,3 mm.

#### 5.14 EXPERIMENTO 14

As campanhas de calibração utilizadas para a propagação empregada no experimento 14 são as campanhas 1 e 3, definidas como primária e secundária, respectivamente. A data final de propagação é 13/03/2012. As informações referentes às campanhas utilizadas no experimento 14 são apresentadas no QUADRO 22.

Experimento 14			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
<b>Campanha</b>	<b>Data</b>	<b>Início DJM</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Primária</b>	12/05/2011	55693,79479167	0,69	- 1,25	62,70	0,07	0,68	63,12
<b>Secundária</b>	14/05/2011	55695,85607639	1,10	- 1,60	65,54	- 0,37	0,68	63,78
<b>Data final de propagação = 13/02/2012 – 55970,47951389 DJM</b>								

QUADRO 22 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 14

Os parâmetros PCOs propagados para a data final de propagação são apresentados e comparados aos parâmetros calibrados para o dia 03/04/2012 na TABELA 27.

TABELA 27 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 14

Experimento 14	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
<b>Parâmetros</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
<b>Propagados</b>	1,41	- 1,86	67,60	- 0,70	0,68	64,18
<b>Calibrados</b>	1,42	- 0,54	63,55	- 0,52	0,34	64,50
<b>Diferença</b>	- 0,01	- 1,32	4,05	- 0,18	0,34	- 0,32

Percebe-se que a maior diferença ocorre na componente Vertical do vetor PCO referente à onda portadora L1 e chega ao valor de pouco mais de 4 mm.

As PCVs associadas aos vetores PCOs propagados são determinadas e comparadas às PCVs calibradas. As diferenças, considerando a onda portadora L1, são apresentadas no gráfico da FIGURA 50.

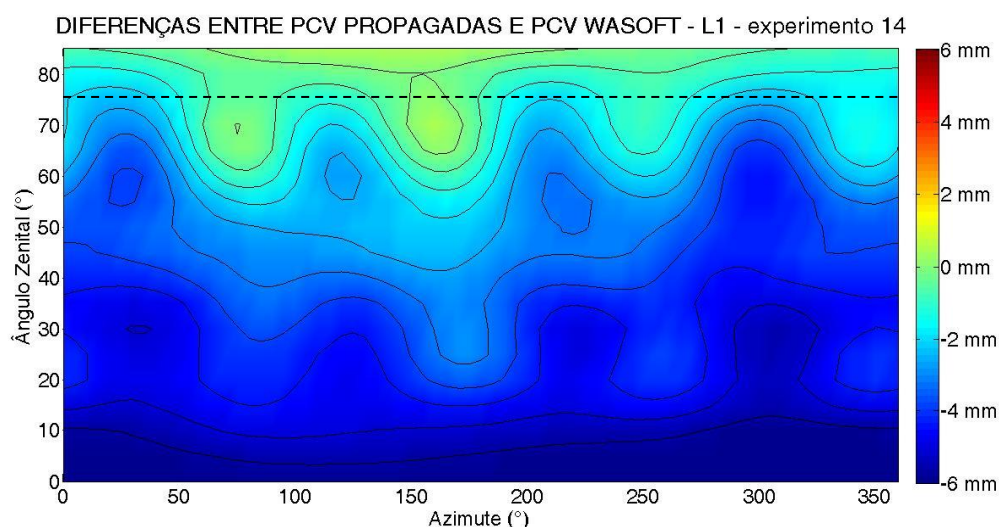


FIGURA 50 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 14



Nota-se que as diferenças atingem valores máximos de 5,5 mm para ângulos zenitais entre 0° e 10°. As diferenças são próximas a zero apenas para a região próxima ao ângulo zenital de 70°, entre os azimutes 150° e 170°.

As diferenças entre as PCVs associadas ao PCO propagado e as PCVs calibradas são apresentadas no gráfico da FIGURA 51.

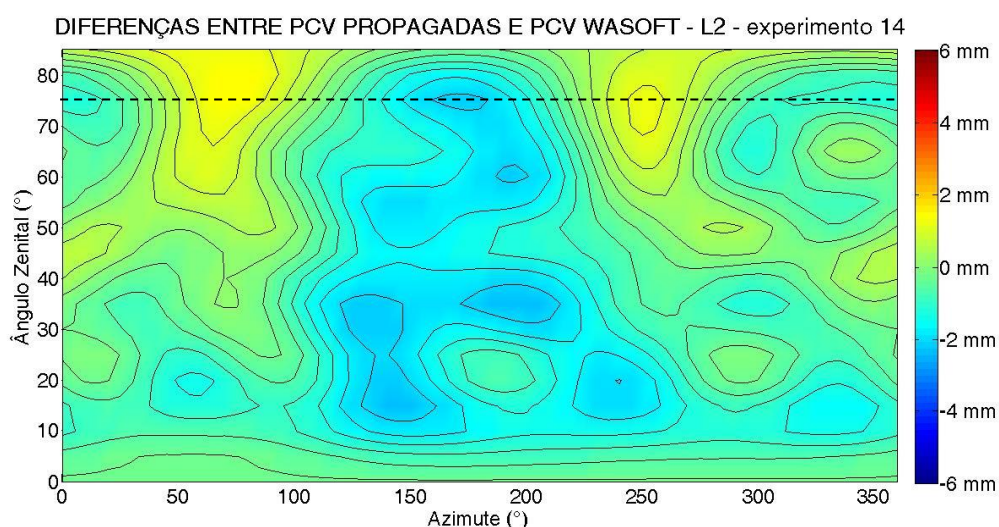


FIGURA 51 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 14

As maiores diferenças atingem valores próximos a 2 mm para a região do ângulo zenital de 35°, entre os azimutes de 190° e 210°.

As coordenadas geodésicas e UTM do Ponto 2, determinadas com a aplicação de diferentes parâmetros são apresentadas na TABELA 28.

TABELA 28 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 2 – EXPERIMENTO 14

Ponto 2 – Experimento 14					
Parâm.	latitude	longitude	altitude elips.	Norte (m)	Este (m)
WaSoft	25°51'51,72810"	49°21'47,36140"	914,5225 m	7138314,0982	664013,1001
Propag.	25°51'51,72810"	49°21'47,36138"	914,5156 m	7138314,0982	664013,1007
NGS	25°51'51,72810"	49°21'47,36142"	914,5221 m	7138314,0982	664013,0996
S/ parâm.	25°51'51,72809"	49°21'47,36139"	914,5032 m	7138314,0985	664013,1004

Considerando as coordenadas UTM, o emprego dos parâmetros propagados implica em uma discrepância de 0,6 mm na coordenada Este. Para a aplicação dos parâmetros NGS, a diferença é de 0,5 mm também para a coordenada Leste. Sem a

aplicação de parâmetros PCOs e PCVs, as diferenças atingem 0,3 mm tanto na coordenada Norte quanto na coordenada Este.

Na comparação entre as altitudes elipsoidais, a aplicação dos parâmetros obtidos pela propagação resultou em uma diferença de 6,9 mm. Aplicando-se parâmetros NGS, a diferença é de 0,4 mm e, para o caso em que não são aplicados parâmetros PCOs e PCVs, a diferença é de 19,3 mm.

### 5.15 EXPERIMENTO 15

O experimento 15 calcula as componentes propagadas do vetor PCO utilizando como campanha primária a campanha de calibração 5 e como campanha secundária a campanha de calibração 7. A data final de propagação é o dia 13/02/2012. As informações referentes às campanhas empregadas no experimento 15 são apresentadas no QUADRO 23.

Experimento 15			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Campanha	Data	Início DJM	N	E	H	N	E	H
<b>Primária</b>	01/09/2011	55805,54531250	1,45	- 0,29	63,85	- 0,55	0,31	63,95
<b>Secundária</b>	03/09/2011	55807,87100694	1,39	- 0,19	63,59	- 0,73	0,30	63,65
<b>Data final de propagação = 13/02/2012 – 55970,47951389 DJM</b>								

QUADRO 23 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 15

As componentes do vetor PCO propagado são apresentadas e comparadas às do PCO calibrado para o dia 03/04/2012 na TABELA 29.

TABELA 29 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 15

Experimento 15		PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Parâmetros		N	E	H	N	E	H
<b>Propagados</b>		1,34	- 0,11	63,29	- 0,87	0,29	63,32
<b>Calibrados</b>		1,42	- 0,54	63,55	- 0,52	0,34	64,50
<b>Diferença</b>		- 0,08	0,43	0,26	- 0,35	- 0,05	- 1,18

A maior diferença é verificada na componente Vertical do vetor PCO referente à onda portadora L2, no valor de 1,18 mm.

Após a propagação das componentes do vetor PCO, são determinadas as PCVs associadas. A comparação entre as PCVs associadas ao vetor PCO propagado e as PVCs calibradas para a onda portadora L1 são apresentadas no gráfico da FIGURA 52.

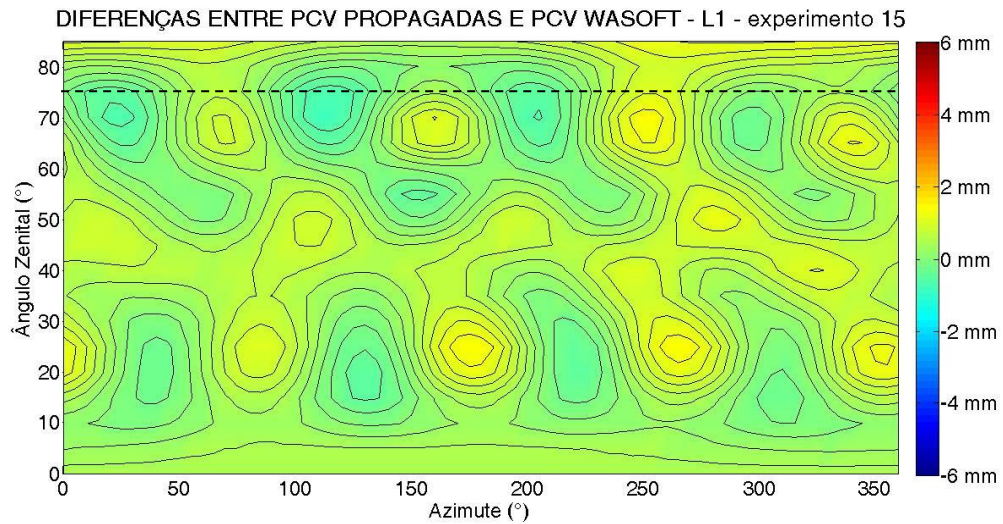


FIGURA 52 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 15

As maiores diferenças atingem valores aproximadamente iguais a 1,2 mm para o ângulo zenital de 25°, entre os azimutes de 160° e 180°.

As diferenças entre os parâmetros PCVs propagados e calibrados, considerando a onda portadora L2, são apresentados no gráfico da FIGURA 53.

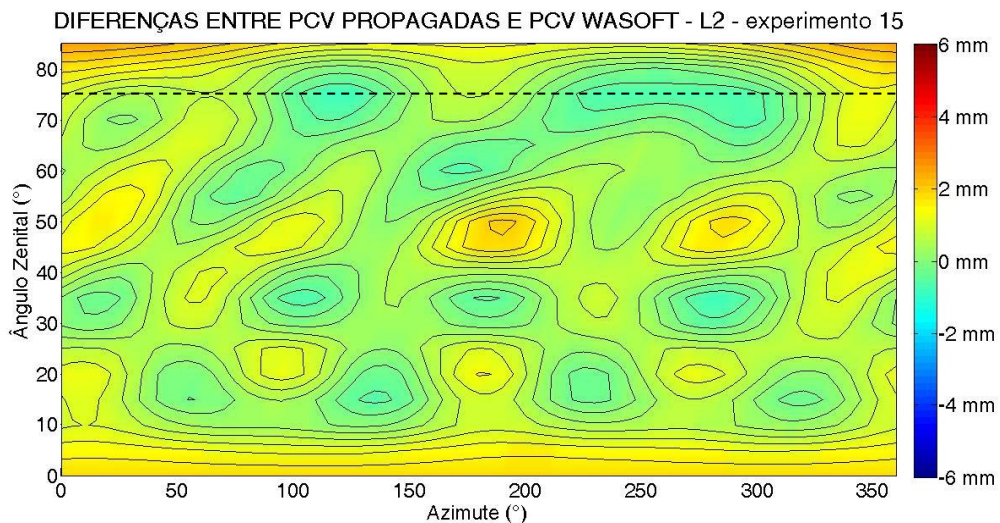


FIGURA 53 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 15

Percebe-se que as maiores discrepâncias alcançam valores de aproximadamente 1,6 mm na região do ângulo zenital de 50°, para azimutes próximos a 190°.

Após o cálculo dos parâmetros PCOs e PCVs pelo experimento 15, são determinadas as coordenadas do Ponto 2 empregando os parâmetros próprios, propagados, NGS e quando não há aplicação de parâmetros PCOs e PCVs. Os valores são apresentados na TABELA 30.

TABELA 30 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 2 – EXPERIMENTO 15

<b>Ponto 2 – Experimento 15</b>					
<b>Parâm.</b>	<b>latitude</b>	<b>longitude</b>	<b>altitude elips.</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>
WaSoft	25°51'51,72810"	49°21'47,36140"	914,5225 m	7138314,0982	664013,1001
Propag.	25°51'51,72810"	49°21'47,36141"	914,5231 m	7138314,0982	664013,0998
NGS	25°51'51,72810"	49°21'47,36142"	914,5221 m	7138314,0982	664013,0996
S/ parâm.	25°51'51,72809"	49°21'47,36139"	914,5032 m	7138314,0985	664013,1004

Considerando as coordenadas UTM, empregando-se os parâmetros propagados obtém-se uma discrepância de 0,3 mm na coordenada Este em relação à aplicação dos parâmetros próprios. Empregando-se os parâmetros estabelecidos pelo NGS, a diferença é de 0,5 mm, também para a coordenada Este. No caso de não aplicação de parâmetros PCOs e PCVs, a diferença é de 0,3 mm em ambas as coordenadas.

Na comparação entre as altitudes elipsoidais, a altitude obtida com o emprego dos parâmetros propagados resultou em uma diferença de 0,6 mm quando comparadas às coordenadas determinadas com os parâmetros próprios. A diferença é de 0,4 mm, quando são aplicados os parâmetros NGS e de 19,3 mm para quando não forem aplicados parâmetros PCOs e PCVs.

## 5.16 EXPERIMENTO 16

No experimento 16, as campanhas de calibração 5 e 9 são definidas como campanhas primária e secundária, respectivamente. A data final de propagação

continua sendo o dia 13/02/2012. As informações envolvendo as campanhas usadas no experimento 16 são apresentadas no QUADRO 24.

Experimento 16			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Campanha	Data	Início DJM	N	E	H	N	E	H
Primária	01/09/2011	55805,54531250	1,45	- 0,29	63,85	- 0,55	0,31	63,95
Secundária	26/09/2011	55830,63020833	1,52	- 0,08	62,94	- 0,63	0,17	63,26
Data final de propagação = 13/02/2012 – 55970,47951389 DJM								

QUADRO 24 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 16

As componentes do vetor PCO propagadas até a data final de propagação são apresentadas e comparadas às componentes calibradas para o dia 03/04/2012 na TABELA 31.

TABELA 31 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALBRADOS – EXPERIMENTO 16

Experimento 16	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Parâmetros	N	E	H	N	E	H
Propagados	1,55	0,01	62,58	- 0,66	0,11	63,00
Calibrados	1,42	- 0,54	63,55	- 0,52	0,34	64,50
Diferença	0,13	0,55	- 0,97	- 0,14	- 0,23	- 1,50

Calculam-se os parâmetros PCVs associados ao vetor PCO propagado e, então, determinam-se as diferenças entre as PCVs propagadas e as PCVs calibradas. Os resultados, considerando a onda portadora L1, são apresentados no gráfico da FIGURA 54.

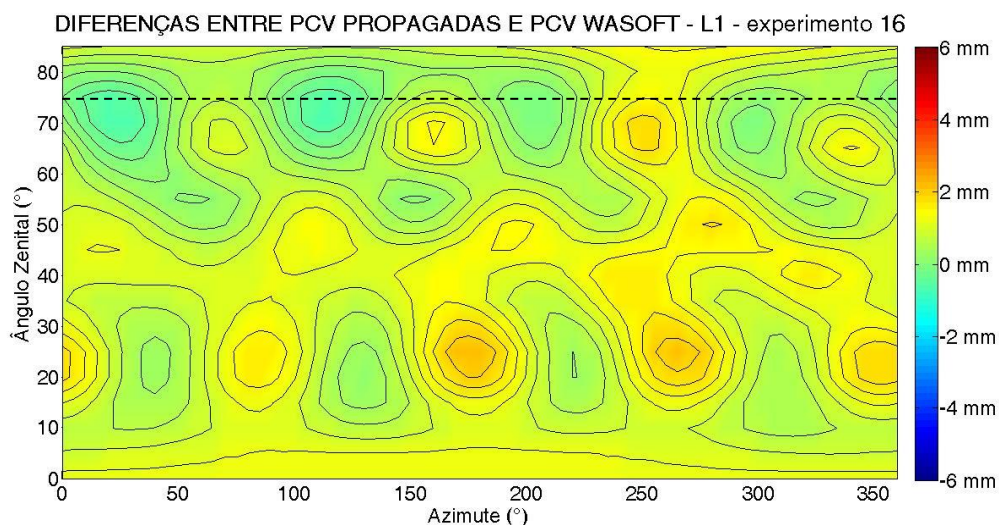


FIGURA 54 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 16



As maiores discrepâncias têm valores aproximados de 1,8 mm e ocorrem para ângulos zenitais próximos de 25°, entre os azimutes de 160° e 190°.

As diferenças entre as PCVs propagadas e as PCVs calibradas, levando-se em conta a onda portadora L2, são apresentadas no gráfico da FIGURA 55.

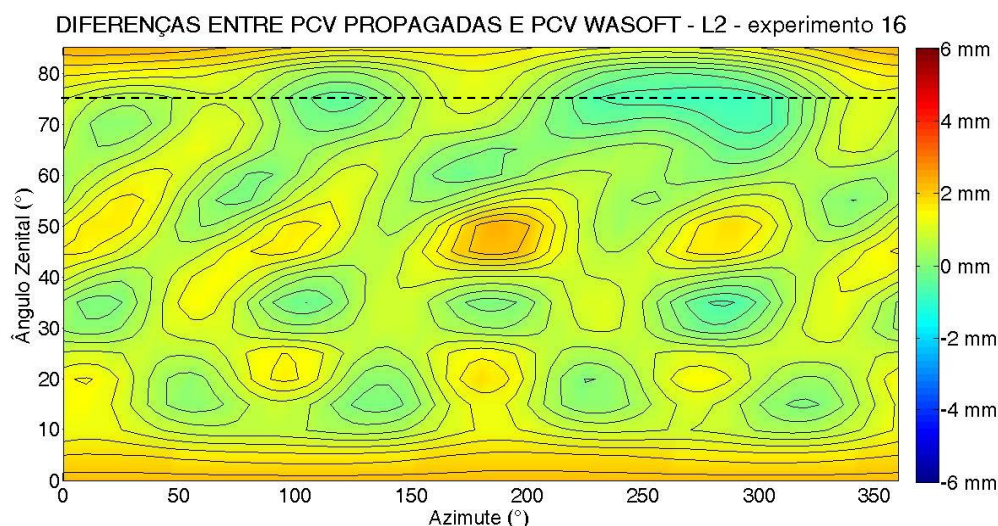


FIGURA 55 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 16

Nota-se que as maiores diferenças atingem o valor aproximado de 2 mm e ocorrem entre os ângulos zenitais de 40° e 50°, para os azimutes no intervalo de 170° e 190°.

As coordenadas geodésicas e UTM do Ponto 2 são determinadas considerando a aplicação de diferentes parâmetros. Os resultados são apresentados na TABELA 32.

TABELA 32 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 2 – EXPERIMENTO 16

Ponto 2 – Experimento 16					
Parâm.	latitude	longitude	altitude elips.	Norte (m)	Este (m)
WaSoft	25°51'51,72810"	49°21'47,36140"	914,5225 m	7138314,0982	664013,1001
Propag.	25°51'51,72811"	49°21'47,36141"	914,5243 m	7138314,0979	664013,0998
NGS	25°51'51,72810"	49°21'47,36142"	914,5221 m	7138314,0982	664013,0996
S/ parâm.	25°51'51,72809"	49°21'47,36139"	914,5032 m	7138314,0985	664013,1004

Considerando as coordenadas UTM, as coordenadas obtidas com a aplicação dos parâmetros propagados apresentam diferenças de 0,3 mm tanto para a coordenada Norte como na coordenada Este a mesma diferença é verificada para

o caso em que não são aplicados parâmetros PCOs e PCVs. Com a aplicação dos parâmetros NGS, a coordenada Este apresenta 0,5 mm de diferença.

Comparando as altitudes elipsoidais, surge uma diferença de 1,8 mm entre a coordenada obtida com os parâmetros propagados e a obtida com os parâmetros próprios, calibrados com WaSoft/Kalib. A diferença é de 0,4 mm quando são aplicados os parâmetros NGS e de 19,3 mm quando não são aplicados parâmetros PCOs e PCVs.

### 5.17 EXPERIMENTO 17

O experimento 17 utiliza as campanhas de calibração 9 e 11 como campanhas primária e secundária, respectivamente. A propagação é realizada até a data final de 13/02/2012. As informações referentes às campanhas do experimento 17 são apresentadas no QUADRO 25.

Experimento 17			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Campanha	Data	Início DJM	N	E	H	N	E	H
<b>Primária</b>	26/09/2011	55830,63020833	1,52	- 0,08	62,94	- 0,63	0,17	63,26
<b>Secundária</b>	28/09/2011	55832,74791667	1,20	- 0,80	62,98	- 0,41	0,48	63,19
<b>Data final de propagação = 13/02/2012 – 55970,47951389 DJM</b>								

QUADRO 25 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 17

As componentes do vetor PCO propagadas pelo experimento 17 são apresentadas e comparadas às componentes calibradas para o dia 03/04/2012 na TABELA 33.

TABELA 33 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALBRADOS – EXPERIMENTO 17

Experimento 17	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Parâmetros	N	E	H	N	E	H
<b>Propagados</b>	1,52	- 0,08	62,96	- 0,63	0,17	63,28
<b>Calibrados</b>	1,42	- 0,54	63,55	- 0,52	0,34	64,50
<b>Diferença</b>	0,10	0,46	- 0,59	- 0,09	- 0,17	- 1,22

A maior diferença verifica-se para a componente Vertical do vetor PCO relacionado à onda portadora L2.

A comparação entre os parâmetros PCVs associados aos parâmetros PCOs propagados, considerando a onda portadora L1, é apresentada no gráfico da FIGURA 56.

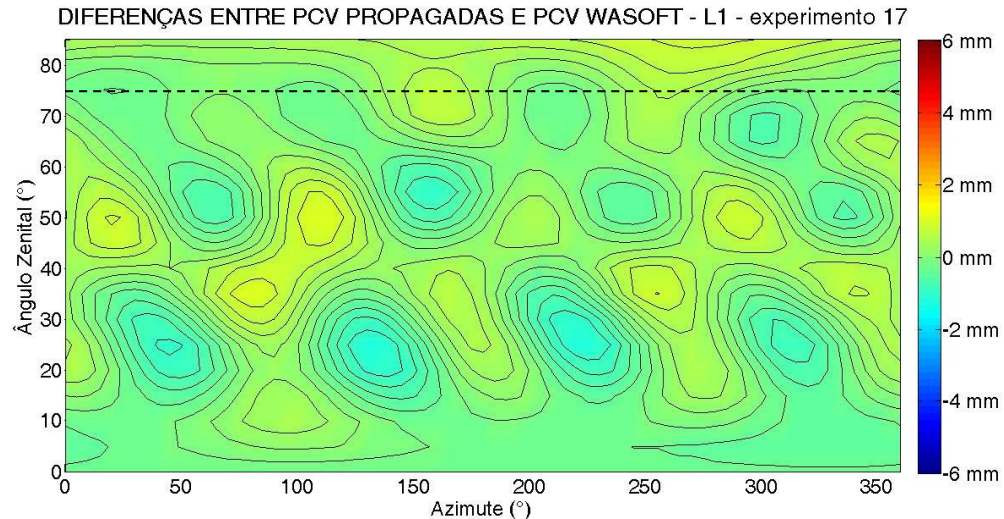


FIGURA 56 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 17

As maiores discrepâncias atingem valores de 0,9 mm e ocorrem para duas regiões: para os ângulos zenitais entre 15° e 25°, entre os azimutes de 130° e 145° e para os ângulos zenitais entre 20° e 30°, entre os azimutes de 220° a 240°.

As diferenças entre as PCVs propagadas e calibradas, considerando a onda portadora L2, são apresentadas no gráfico da FIGURA 57.

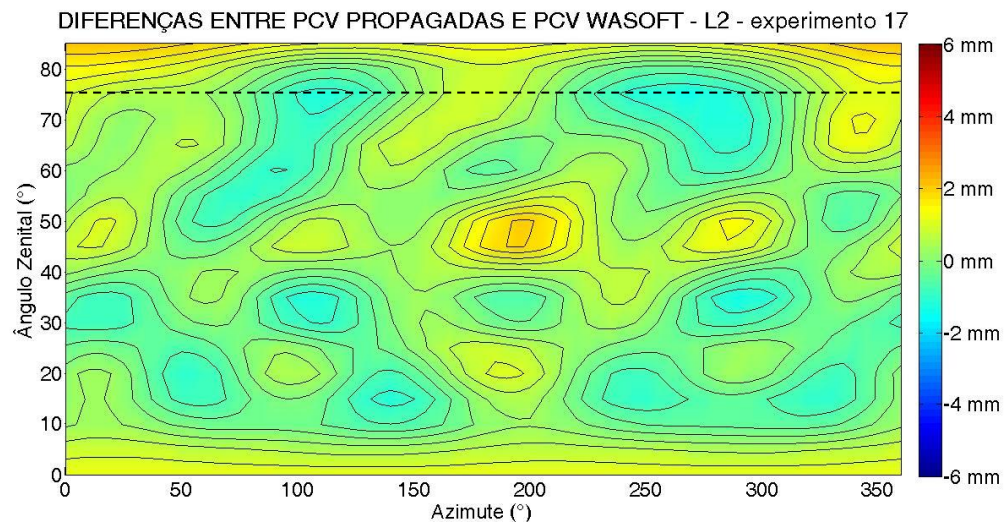


FIGURA 57 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 17



Nota-se que as discrepâncias máximas, no valor aproximado de 1,8 mm, ocorrem para os ângulos zenitais no intervalo de 45° a 50°, entre os azimutes de 190° e 200°.

As coordenadas geodésicas e UTM do Ponto 2, determinadas com a aplicação de diferentes parâmetros são apresentadas na TABELA 34

TABELA 34 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 2 – EXPERIMENTO 17

<b>Ponto 2 – Experimento 17</b>					
<b>Parâm.</b>	<b>latitude</b>	<b>longitude</b>	<b>altitude elips.</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>
WaSoft	25°51'51,72810"	49°21'47,36140"	914,5225 m	7138314,0982	664013,1001
Propag.	25°51'51,72812"	49°21'47,36142"	914,5215 m	7138314,0976	664013,0996
NGS	25°51'51,72810"	49°21'47,36142"	914,5221 m	7138314,0982	664013,0996
S/ parâm.	25°51'51,72809"	49°21'47,36139"	914,5032 m	7138314,0985	664013,1004

Considerando as coordenadas UTM, as discrepâncias são de 0,6 mm na coordenadas Norte e de 0,5 mm na coordenada Este, quando são aplicados os parâmetros propagados pelo experimento 17. Para a aplicação dos parâmetros NGS, a diferença é de 0,5 mm na coordenada Este. Quando não são aplicados parâmetros PCOs e PCVs, a diferença é de 0,3 mm para ambas as coordenadas.

Para a altitude elipsoidal, o emprego dos parâmetros propagados resulta em uma diferença de 1 mm. Uma diferença de 0,4 mm resulta da aplicação dos parâmetros estabelecidos pelo NGS e, para o caso em que não são aplicados parâmetros PCOs e PCVs, a diferença é de 19,3 mm.

## 5.18 EXPERIMENTO 18

As propagações realizadas nos experimentos de 18 a 21 calculam parâmetros que são usados na determinação das coordenadas do Ponto 3 que possui um comprimento de linha de base de aproximadamente de 105 km.

Para o experimento 18, definem-se as campanhas de calibração 9 e 11 como as campanhas primária e secundária, respectivamente. A data final de

propagação é 09/03/2012. As informações que relacionadas às campanhas utilizadas no experimento 18 são apresentadas no QUADRO 26.

Experimento 18			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Campanha	Data	Início DJM	N	E	H	N	E	H
Primária	26/09/2011	55830,63020833	1,52	- 0,08	62,94	- 0,63	0,17	63,26
Secundária	28/09/2011	55832,74791667	1,20	- 0,80	62,98	- 0,41	0,48	63,19
Data final de propagação = 09/03/2012 – 55995,51250000 DJM								

QUADRO 26 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 18

O vetor PCO propagado é comparado ao vetor PCO calibrado para o dia 03/04/2012. Os resultados são apresentados na TABELA 35.

TABELA 35 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 18

Experimento 18	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Parâmetros	N	E	H	N	E	H
Propagados	1,52	- 0,09	62,97	- 0,63	0,17	63,29
Calibrados	1,42	- 0,54	63,55	- 0,52	0,34	64,50
Diferença	0,10	0,45	- 0,58	- 0,09	- 0,17	- 1,21

Nota-se que a maior diferença, no valor de 1,21 mm, ocorre na componente Vertical, em relação à onda portadora L2.

Calculando-se as PCVs associadas ao PCO propagado e fazendo a comparação com as PCVs calibradas, produz-se o gráfico da FIGURA 58, que representa as diferenças considerando a onda portadora L1.

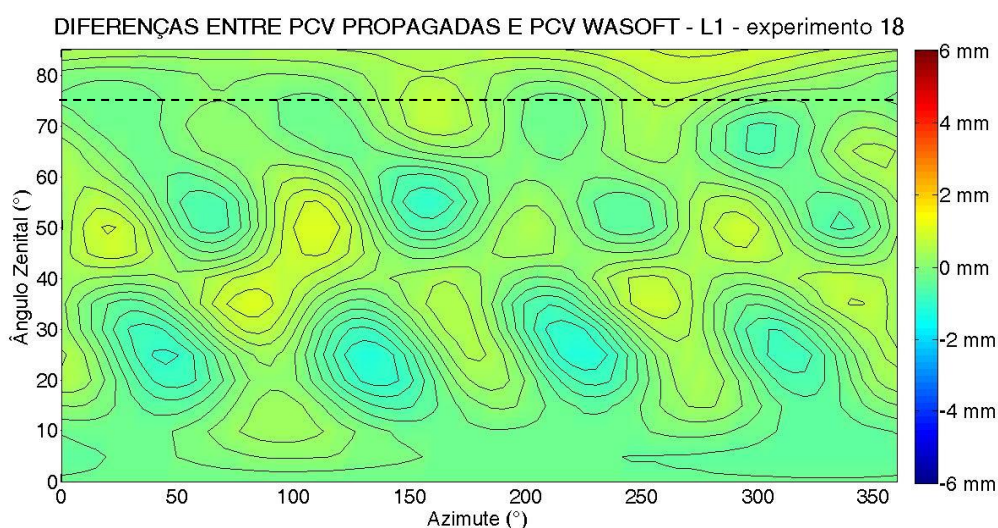


FIGURA 58 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 18

As maiores diferenças chegam a 1 mm para o ângulo zenital de 25°, no intervalo entre os azimutes de 130° e 160°.

As diferenças entre as PCVs associadas ao PCO propagado e as PCVs calibradas pelo programa WaSoft, considerando a onda portadora L2 são apresentadas no gráfico da FIGURA 59.

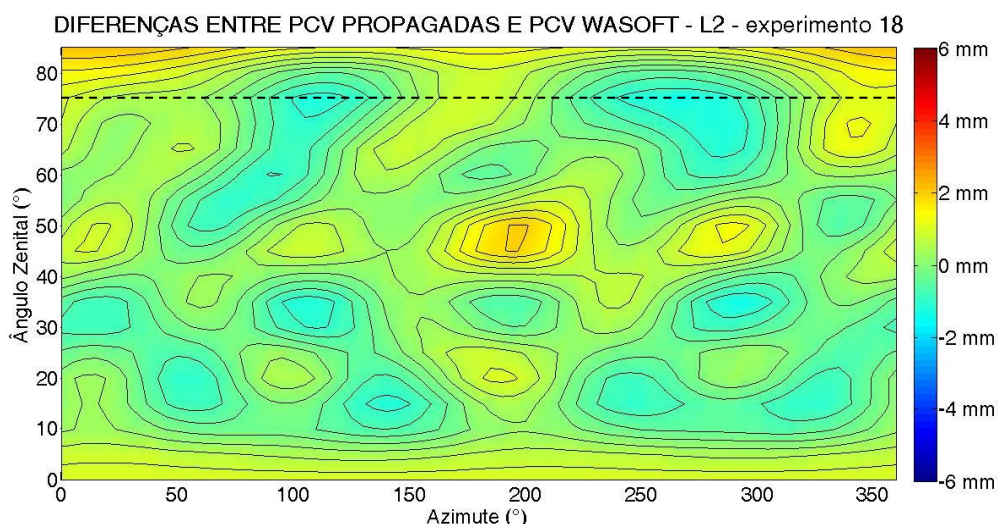


FIGURA 59 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO18

As maiores discrepâncias atingem o valor de 1,6 mm e ocorrem para o intervalo entre os ângulos zenitais de 45° e 50°, próximo ao azimuth de 190°.

As coordenadas geodésicas e UTM do Ponto 3 obtidas com o emprego de diferentes parâmetros PCOs e PCVs, bem como sem a aplicação destes, são apresentadas na TABELA 36.

TABELA 36 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 3 – EXPERIMENTO 18

Ponto 3 – Experimento 18					
Parâm.	latitude	longitude	altitude elips.	Norte (m)	Este (m)
WaSoft	25°07'31,82971"	50°10'50,94219"	806,4986 m	7220904,1105	582581,1325
Propag.	25°07'31,82970"	50°10'50,94223"	806,4973 m	7220904,1109	582581,1314
NGS	25°07'31,82977"	50°10'50,94218"	806,4970 m	7220904,1086	582581,1328
S/ parâm.	25°07'31,82953"	50°10'50,94253"	806,4791 m	7220904,1161	582581,1230

Observando as coordenadas UTM, a aplicação dos parâmetros propagados resulta em uma discrepância de 0,4 mm na coordenada Norte e de 1,1 mm na coordenada Este. Para a aplicação dos parâmetros NGS, a discrepância na coordenada Norte é de 1,9 mm, enquanto que a discrepância na coordenada Este é

de 0,3 mm. Quando não são aplicados parâmetros PCOs e PCVs, as diferenças são de 5,6 mm para a coordenada Norte e de 9,5 mm na coordenada Este.

Considerando a altitude elipsoidal, o emprego dos parâmetros propagados resulta em uma diferença de 1,3 mm. Aplicando-se os parâmetros NGS, a diferença é de 1,6 mm e, para o caso em que não são aplicados parâmetros PCOs e PCVs, a diferença chega a 19,5 mm.

### 5.19 EXPERIMENTO 19

No experimento 19, as campanhas de calibração 1 e 2 são definidas como as campanhas primária e secundária, respectivamente. A data final de propagação coincide com a data da campanha de calibração 13 realizada em 03/04/2012. O QUADRO 27 reúne as informações sobre as campanhas utilizadas no experimento 19.

Experimento 19			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Campanha	Data	Início DJM	N	E	H	N	E	H
<b>Primária</b>	12/05/2011	55693,79479167	0,69	- 1,25	62,70	0,07	0,68	63,12
<b>Secundária</b>	13/05/2011	55694,81510417	0,66	- 1,32	62,69	- 0,10	0,68	62,99
<b>Data final de propagação = 03/04/2012 – 56020,52465278 DJM</b>								

QUADRO 27 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 19

As componentes do vetor PCO propagado são apresentadas e comparadas às componentes calibradas pela campanha de 03/04/2012 na TABELA 37.

TABELA 37 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 19

Experimento 19	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Parâmetros	N	E	H	N	E	H
<b>Propagados</b>	0,64	- 1,37	62,82	- 0,21	0,68	63,04
<b>Calibrados</b>	1,42	- 0,54	63,55	- 0,52	0,34	64,50
<b>Diferença</b>	- 0,78	- 0,83	- 0,73	0,31	0,34	- 1,46

A maior diferença ocorre na componente Vertical para a onda portadora L2, no valor de 1,46 mm.

As PCVs relacionadas ao PCO propagado são determinadas e comparadas às PCVs calibradas pela campanha de 03/04/2012. O gráfico da FIGURA 60 representa as diferenças encontradas considerando-se a onda portadora L1.

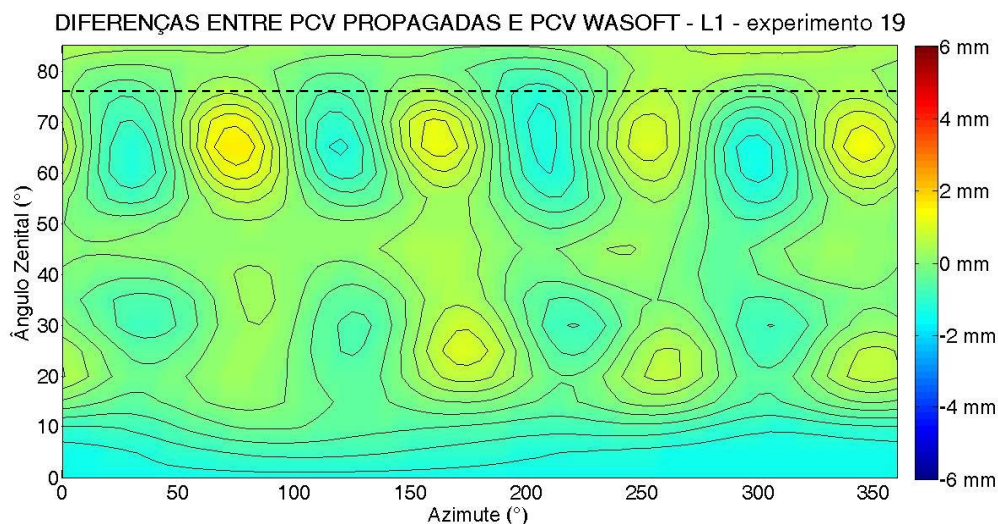


FIGURA 60 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 19

As maiores diferenças assumem valores próximos a 1,3 mm e ocorrem para o ângulo zenital de 65°, entre os azimutes de 75° e 90°.

As diferenças entre as PCVs associadas ao vetor propagado e as PCVs calibradas, considerando a onda portadora L2, são apresentadas no gráfico da FIGURA 61.

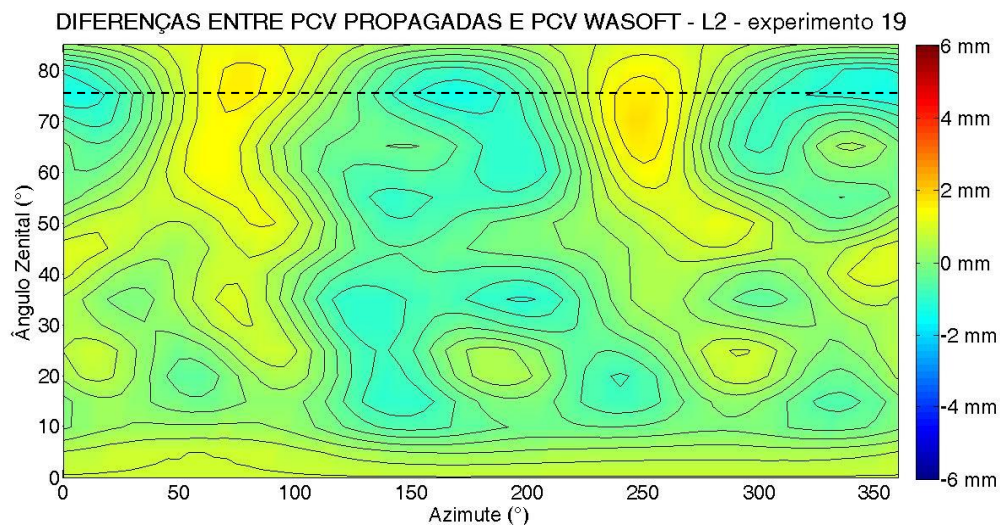


FIGURA 61 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 19



As maiores diferenças atingem valores próximos 1,4 mm no intervalo de 60° a 75° de ângulo zenital, para o azimute de 250°.

As coordenadas geodésicas e UTM do Ponto 3 são determinadas levando-se em conta diferentes parâmetros PCOs e PCVs próprios, propagados, estabelecidos pelo NGS e para o caso em que os parâmetros não são aplicados. Os valores são apresentados na TABELA 38.

TABELA 38 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 3 – EXPERIMENTO 19

<b>Ponto 3 – Experimento 19</b>					
<b>Parâm.</b>	<b>latitude</b>	<b>longitude</b>	<b>altitude elips.</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>
WaSoft	25°07'31,82971"	50°10'50,94219"	806,4986 m	7220904,1105	582581,1325
Propag.	25°07'31,82965"	50°10'50,94209"	806,4976 m	7220904,1123	582581,1353
NGS	25°07'31,82977"	50°10'50,94218"	806,4970 m	7220904,1086	582581,1328
S/ parâm.	25°07'31,82953"	50°10'50,94253"	806,4791 m	7220904,1161	582581,1230

Considerando as coordenadas UTM, a aplicação dos parâmetros propagados resulta em uma diferença de 1,8 mm na coordenada Norte e de 2,8 mm na coordenada Este. A aplicação dos parâmetros NGS resulta em uma diferença de 1,9 mm na coordenada Norte e 0,3 mm na coordenada Este. As diferenças são de 5,6 mm na coordenada Norte e de 9,5 mm na coordenada Este para o caso em que não são aplicados parâmetros PCOs e PCVs.

Considerando as altitudes elipsoidais, o emprego dos parâmetros propagados resulta em uma discrepância de 1 mm, enquanto que os parâmetros estabelecidos pelo NGS, quando empregados, produzem uma diferença de 1,6 mm. Para o caso em que não há aplicação dos parâmetros PCOs e PCVs, a diferença é de 19,5 mm.

## 5.20 EXPERIMENTO 20

Definem-se como campanhas primária e secundária, para o experimento 20, as campanhas de calibração 9 e 11, respectivamente. A data final de propagação é o dia 03/04/2012, a qual coincide com a data da campanha de calibração 13. As

informações a respeito das campanhas utilizadas no experimento 20 são apresentadas no QUADRO 28.

Experimento 20			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Campanha	Data	Início DJM	N	E	H	N	E	H
<b>Primária</b>	26/09/2011	55830,63020833	1,52	- 0,08	62,94	- 0,63	0,17	63,26
<b>Secundária</b>	28/09/2011	55832,74791667	1,20	- 0,80	62,98	- 0,41	0,48	63,19
<b>Data final de propagação = 03/04/2012 – 56020,52465278 DJM</b>								

QUADRO 28 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 20

As componentes do vetor PCO propagado são calculadas e comparadas às componentes do vetor PCO calibrado pela campanha de 13. Os resultados são apresentados na TABELA 39.

TABELA 39 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 20

Experimento 20	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Parâmetros	N	E	H	N	E	H
<b>Propagados</b>	1,35	- 0,47	63,10	- 0,51	0,34	63,36
<b>Calibrados</b>	1,42	- 0,54	63,55	- 0,52	0,34	64,50
<b>Diferença</b>	- 0,07	0,07	- 0,45	0,01	0,00	- 1,14

Percebe-se que a maior discrepância resulta em 1,14 mm e ocorre para a componente Vertical do vetor PCO referente à onda portadora L2.

Os parâmetros PCVs associados ao vetor PCO propagado pelo experimento 20 são determinados e comparados aos parâmetros PCVs próprios da antena, calibrados pela campanha 13. A comparação apresentada pelo gráfico da FIGURA 62 leva em conta a onda portadora L1.

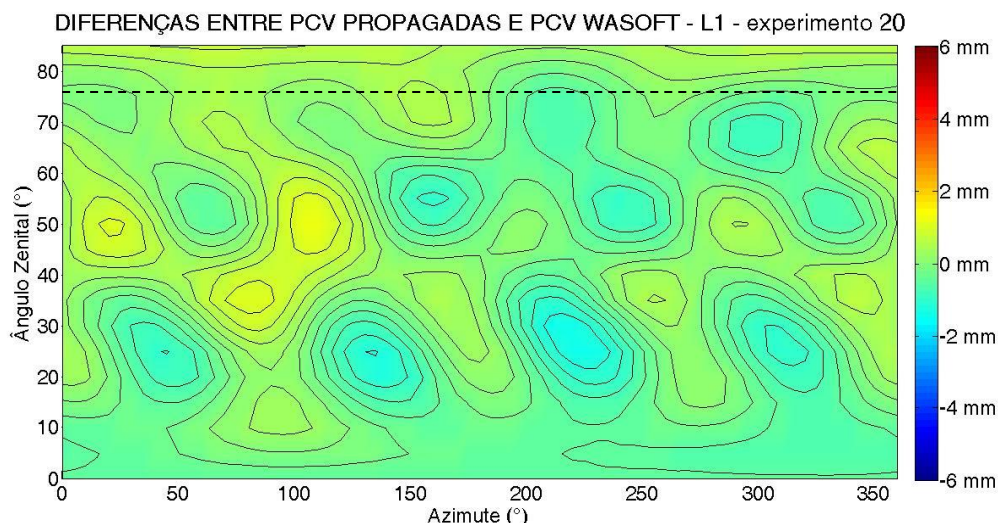


FIGURA 62 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 20

As maiores diferenças atingem valor aproximado de 1,2 mm e são notadas nas proximidades do ângulo zenital de 25°, entre os azimutes de 230° e 240°.

As diferenças entre as PCVs propagadas e as PCVs próprias, considerando a onda portadora L2, são apresentadas no gráfico da FIGURA 63.

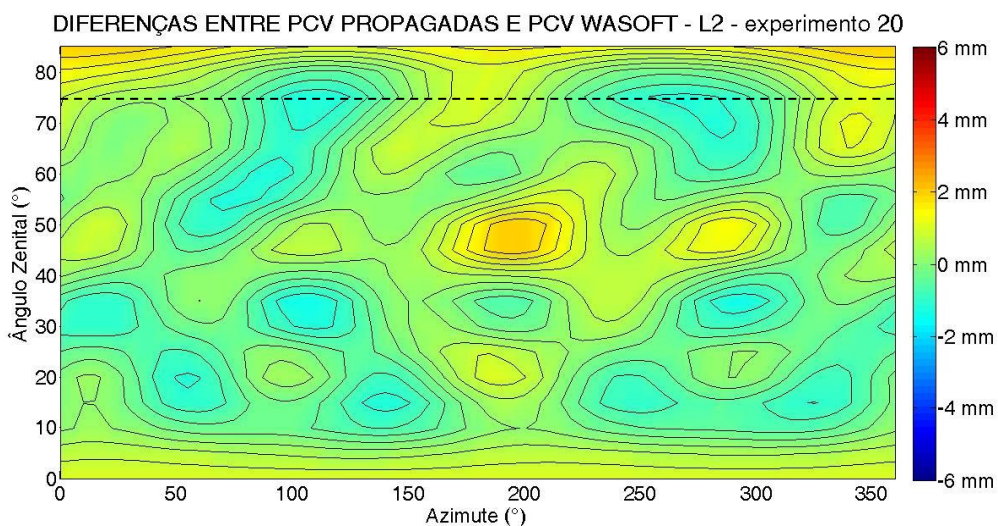


FIGURA 63 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 20

As maiores diferenças assumem valores próximos a 1,7 mm entre os ângulos zenitais de 40° e 50°, no intervalo azimutal de 180° a 205°.

As coordenadas geodésicas e UTM do Ponto 3 determinadas pelo experimento 20 são apresentadas na TABELA 40. As coordenadas estabelecidas



com os parâmetros propagados, próprios, NGS e para o caso em que não são aplicados parâmetros PCOs e PCVs, também são apresentadas.

TABELA 40 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PONTO 3 – EXPERIMENTO 20

<b>Ponto 3 – Experimento 20</b>					
<b>Parâm.</b>	<b>latitude</b>	<b>longitude</b>	<b>altitude elips.</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>
WaSoft	25°07'31,82971"	50°10'50,94219"	806,4986 m	7220904,1105	582581,1325
Propag.	25°07'31,82966"	50°10'50,94214"	806,4968 m	7220904,1120	582581,1339
NGS	25°07'31,82977"	50°10'50,94218"	806,4970 m	7220904,1086	582581,1328
S/ parâm.	25°07'31,82953"	50°10'50,94253"	806,4791 m	7220904,1161	582581,1230

Considerando as coordenadas UTM, aplicando-se os parâmetros propagados ocorre uma diferença de 1,5 mm na coordenada Norte e de 1,4 mm na coordenada Este. Aplicando-se os parâmetros NGS, uma diferença de 1,9 mm ocorre na coordenada Norte e de 0,3 mm na coordenada Este. Quando não são aplicados os parâmetros PCOs e PCVs, as diferenças são de 5,6 mm e 9,5 mm para as coordenadas Norte e Este, respectivamente.

Considerando a altitude elipsoidal, os parâmetros propagados produziram uma discrepância de 1,8 mm na comparação com os resultados obtidos com a aplicação dos parâmetros próprios. A aplicação dos parâmetros NGS, resulta em uma discrepância de 1,6 mm e quando não há aplicação de parâmetros PCOs e PCVs a diferença é de 19,5 mm.

Nos experimentos apresentados os parâmetros PCOs são determinados para a data final de propagação. Assim, os parâmetros propagados correspondem aos parâmetros PCOs relacionados ao último passo de integração da propagação realizada.

Também foram conduzidos experimentos em que parâmetros PCOs são estabelecidos por passos intermediários da propagação e empregados na determinação das coordenadas de um ponto. Desta forma, escolheu-se uma data que pertencesse ao intervalo de tempo entre a data de início e a data final de propagação. A data escolhida coincide com a data de uma das campanhas de calibração apresentadas, QUADROS 2 a 6, para que seja possível a comparação com os parâmetros próprios.

Os experimentos de 21 e 22 dizem respeito a propagações que determinam as componentes do vetor PCO considerando uma data escolhida no intervalo de

tempo entre o início e o final da propagação. Com a finalidade de validação, os parâmetros propagados para a data intermediária são empregados na determinação das coordenadas geodésicas e UTM do Pilar 2000 para que sejam comparadas às coordenadas estabelecidas com o emprego dos parâmetros calibrados pelo programa WaSoft/Kalib. A exemplo dos experimentos de 1 a 20, também são determinadas as coordenadas quando são aplicados parâmetros NGS e para o caso em que nenhum parâmetro PCO e PCV é empregado.

## 5.21 EXPERIMENTO 21

Para o experimento 21 são definidas como campanhas primária e secundária as campanhas de calibração 1 e 2, respectivamente. A data final de propagação é 28/09/2011 e a data intermediária é 05/09/2011 que coincide com a data de realização da campanha de calibração 8. Desta forma, as componentes do vetor PCO são propagadas numericamente desde a data de 12/05/2011 até 28/09/2011 e são considerados os parâmetros estabelecidos para instante mais próximo ao horário de início da campanha de calibração 8. As informações sobre as campanhas utilizadas no experimento 21 são apresentadas no QUADRO 29.

Experimento 21			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Campanha	Data	Início DJM	N	E	H	N	E	H
<b>Primária</b>	12/05/2011	55693,79479167	0,69	– 1,25	62,70	0,07	0,68	63,12
<b>Secundária</b>	13/05/2011	55694,81510417	0,66	– 1,32	62,69	– 0,10	0,68	62,99
<b>Data final de propagação = 28/09/2011 – 55832,74791667 DJM</b>								
<b>Data intermediária = 05/09/2011 – 55809,54409722 DJM</b>								

QUADRO 29 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 21

Os parâmetros propagados para a data intermediária são apresentados e comparados aos parâmetros calibrados pela campanha 8 na TABELA 41.

TABELA 41 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 21

Experimento 21	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Parâmetros	N	E	H	N	E	H
Propagados	0,65	- 1,34	62,88	- 0,14	0,68	63,16
Calibrados	1,51	- 0,16	63,36	- 0,66	0,23	63,86
Diferença	- 0,86	- 1,18	- 0,48	0,52	0,45	- 0,70

A maior diferença ocorre para a componente Este do vetor PCO referente à onda portadora L1, no valor de 1,18 mm.

A comparação entre os parâmetros PCVs associados ao vetor PCO propagado e os parâmetros PCVs próprios, calibrados pela campanha 8, considerando a onda portadora L1, é apresentada no gráfico da FIGURA 64.

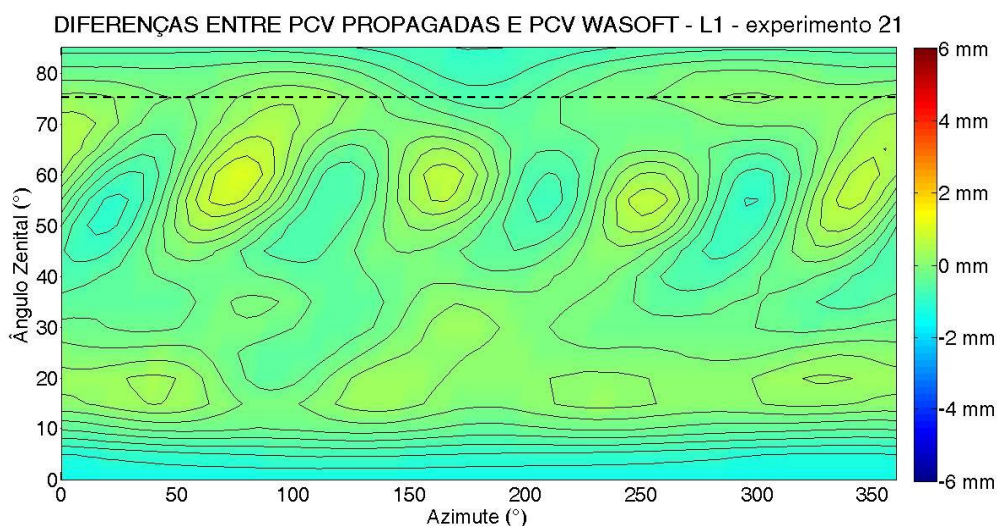


FIGURA 64 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 21

As maiores discrepâncias atingem valores aproximados de 1,2 mm para a região zenital.

As diferenças entre as PCVs propagadas e próprias para data intermediária, considerando a onda portadora L2, são apresentadas no gráfico da FIGURA 65.

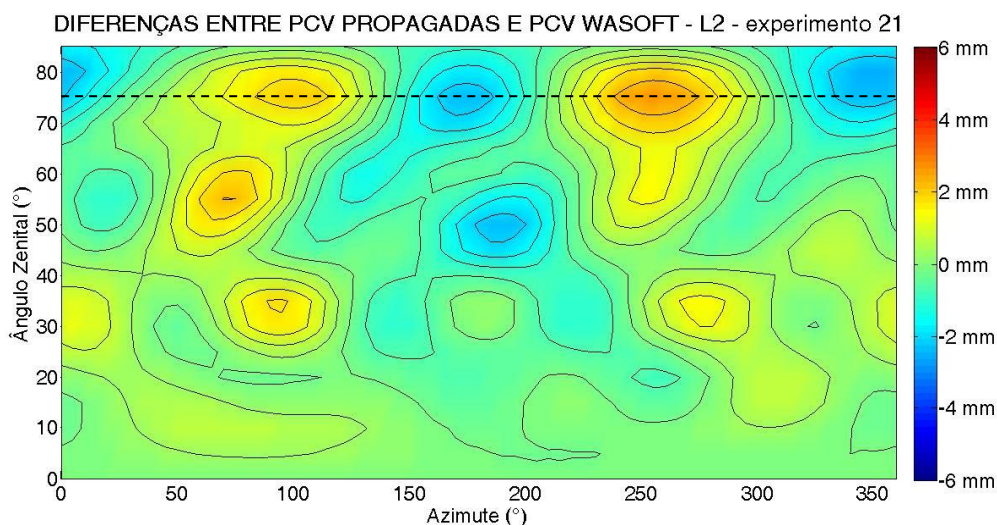


FIGURA 65 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 21

As maiores diferenças assumem valores de aproximadamente 2,2 mm e ocorrem nas proximidades do ângulo zenital de 75°, entre os azimutes de 240° e 270°.

As coordenadas geodésicas e UTM do Pilar 2000 em que são aplicados diferentes parâmetros PCOs e PCVs e também para o caso em que não há aplicação destes parâmetros, são apresentadas na TABELA 42.

TABELA 42 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 21

Pilar 2000 – Experimento 21 (data intermediária – 05/09/2011)					
Parâm.	latitude	longitude	altitude elips.	Norte (m)	Este (m)
WaSoft	25°26'54,88211"	49°13'52,22855"	927,2704 m	7184200,3673	677856,0995
Propag.	25°26'54,88209"	49°13'52,22853"	927,2708 m	7184200,3679	677856,1000
NGS	25°26'54,88209"	49°13'52,22854"	927,2704 m	7184200,3679	677856,0998
S/ parâm.	25°26'54,88211"	49°13'52,22855"	927,2556 m	7184200,3673	677856,0995

Considerando as coordenadas UTM, quando os parâmetros propagados são empregados, discrepâncias de 0,6 mm e 0,5 mm ocorrem nas coordenadas Norte e Este, respectivamente. Para o emprego dos parâmetros NGS, a discrepância na coordenada Norte mantém-se em 0,6 mm, chegando a 0,3 mm na coordenada Este. Para o caso em que não são aplicados parâmetros PCOs e PCVs, as coordenadas UTM são as mesmas quando da aplicação dos parâmetros próprios da antena.

Na comparação entre as altitudes elipsoidais, a aplicação dos parâmetros propagados resulta em uma diferença de 0,4 mm. Aplicando-se os parâmetros NGS,

a diferença é nula. No caso em que não se aplicam parâmetros PCOs e PCVs, a diferença atinge o valor de 14,8 mm.

## 5.22 EXPERIMENTO 22

Para o experimento 22, as campanhas 5 e 6 são definidas como primária e secundária, respectivamente. A data final de propagação é 01/10/2011 e a data intermediária coincide com a data da campanha de calibração 11 (28/09/2011). As informações sobre as campanhas utilizadas no experimento 22 são apresentadas no QUADRO 30.

Experimento 22			PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Campanha	Data	Início DJM	N	E	H	N	E	H
<b>Primária</b>	01/09/2011	55805,54531250	1,45	- 0,29	63,85	- 0,55	0,31	63,95
<b>Secundária</b>	02/09/2011	55806,60694444	1,56	- 0,24	63,22	- 0,75	0,30	63,56
<b>Data final de propagação = 01/10/2011 – 55835,72048611 DJM</b>								
<b>Data intermediária = 28/09/2011 – 55832,74791667 DJM</b>								

QUADRO 30 – INFORMAÇÕES SOBRE AS CAMPANHAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO 22

As componentes propagadas do vetor PCO para a data intermediária são apresentadas e comparadas às componentes próprias na TABELA 43.

TABELA 43 – COMPARAÇÃO ENTRE PCOs PROPAGADOS E CALIBRADOS – EXPERIMENTO 22

Experimento 22	PCO L1 (mm)			PCO L2 (mm)		
Parâmetros	N	E	H	N	E	H
<b>Propagados</b>	1,63	- 0,21	62,96	- 0,88	0,30	63,45
<b>Calibrados</b>	1,20	- 0,80	62,98	- 0,41	0,48	63,19
<b>Diferença</b>	0,43	0,59	0,02	- 0,47	- 0,18	0,26

A maior diferença ocorre na componente Este para a onda portadora L1. Os parâmetros PCVs associados ao vetor PCO propagado são calculados e comparados aos parâmetros PCVs estabelecidos pela campanha de calibração 11. As diferenças referentes à onda portadora L1 são apresentadas no gráfico da FIGURA 66.

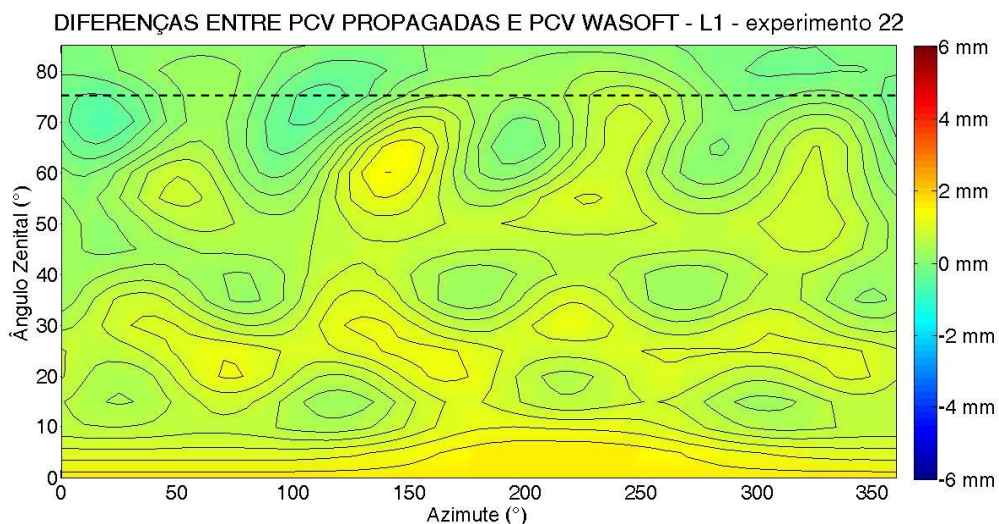


FIGURA 66 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L1 – EXPERIMENTO 22

As maiores discrepâncias assumem valores próximos 1,4 mm e ocorrem para o ângulo zenital de 5°, no intervalo azimutal de 170° a 255°.

As diferenças entre as PCVs associadas ao PCO propagado e calibradas, considerando a onda portadora L2, são apresentadas no gráfico da FIGURA 67.

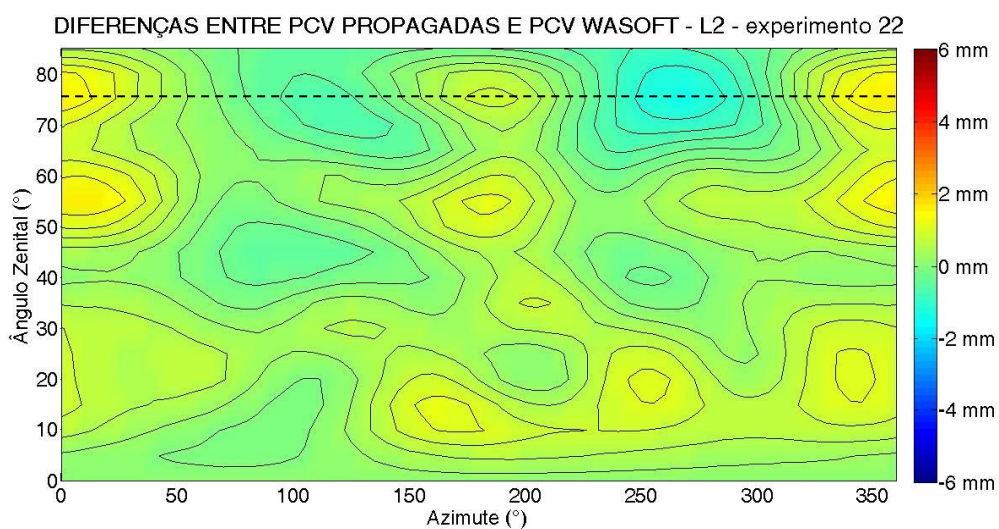


FIGURA 67 – DIFERENÇAS ENTRE PCVs PROPAGADAS E PCVs PRÓPRIAS – PORTADORA L2 – EXPERIMENTO 22

As maiores diferenças alcançam valores próximos a 1,3 mm e ocorrem para o ângulo zenital de 55° entre os azimutes de 350° e 20°.

As coordenadas geodésicas e UTM do Pilar 2000 considerando os parâmetros estabelecidos pelo programa WaSoft (próprios), propagados, NGS e

para o caso em que não são aplicados parâmetros PCOs e PCVs, são apresentadas na TABELA 44.

TABELA 44 – COORDENADAS GEODÉSICAS E UTM DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 22

<b>Pilar 2000 – Experimento 22 (data intermediária – 28/09/2011)</b>					
<b>Parâm.</b>	<b>latitude</b>	<b>longitude</b>	<b>altitude elips.</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>
WaSoft	25°26'54,88209"	49°13'52,22853"	927,2702 m	7184200,3679	677856,1000
Propag.	25°26'54,88209"	49°13'52,22854"	927,2709 m	7184200,3679	677856,0998
NGS	25°26'54,88208"	49°13'52,22854"	927,2702 m	7184200,3683	677856,0998
S/ parâm.	25°26'54,88210"	49°13'52,22854"	927,2552 m	7184200,3676	677856,0998

Observando as coordenadas UTM, ao empregarem-se os parâmetros propagados, uma discrepância de 0,2 mm ocorre na coordenada Este. Aplicando-se os parâmetros NGS, uma diferença de 0,4 mm ocorre para a coordenada Norte, enquanto que na coordenada Este ocorre uma diferença de 0,2 mm. Para o caso em que não são aplicados parâmetros PCOs e PCVs, as diferenças atingem valores de 0,3 mm e 0,2 mm nas coordenadas Norte e Este, respectivamente.

Considerando as altitudes elipsoidais, uma diferença de 0,7 mm é obtida quando os parâmetros propagados são aplicados. Para o caso em que não são aplicados parâmetros PCOs e PCVs, a diferença é de 15 mm.

Levando-se em conta que os parâmetros do centro de fase, quando negligenciados, produzem um maior impacto sobre a componente Vertical das coordenadas de um ponto, apresentam-se, no gráfico da FIGURA 68, as diferenças entre as componentes verticais dos vetores PCOs propagados e dos vetores PCOs calibrados relativos a cada experimento realizado.



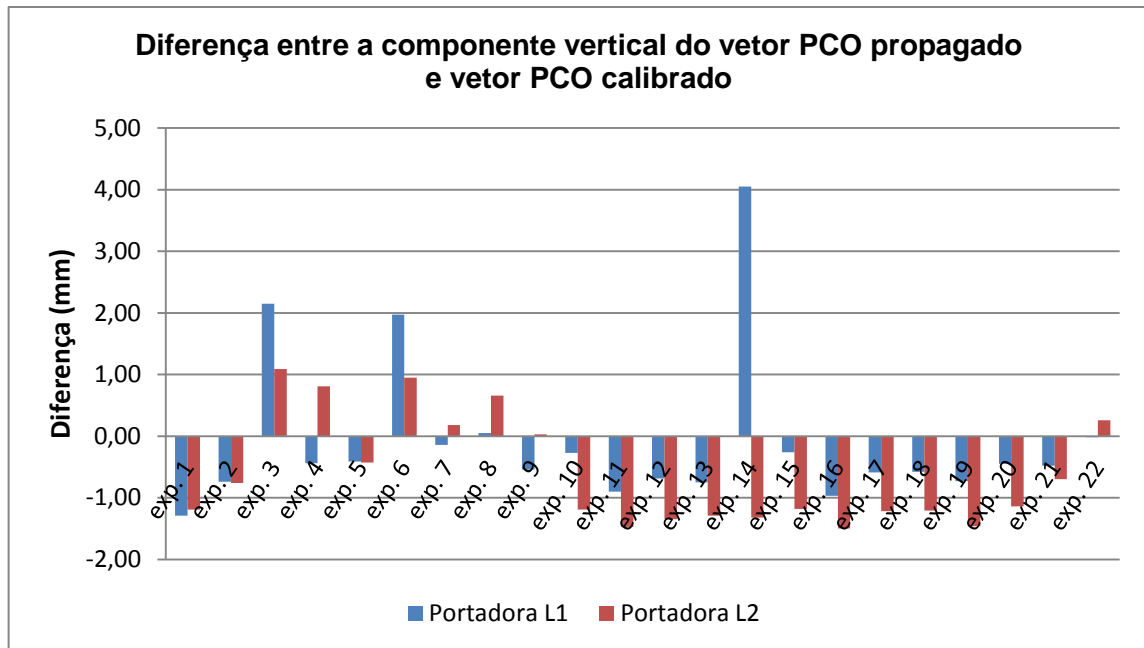


FIGURA 68 – COMPARAÇÃO ENTRE AS COMPONENTES VERTICAIS DOS VETORES PCOs PROPAGADOS E PRÓPRIOS

Destacam-se os experimentos 3, 6 e 14, nos quais a diferença na componente Vertical do vetor PCO para a onda portadora L1 atinge valores iguais a 2,15 mm, 1,97 mm e 4,05 mm, respectivamente. Portanto, as maiores diferenças. No entanto, para a maioria dos experimentos, as discrepâncias não superam o valor de 1 mm, em módulo, para os experimentos com a onda portadora L1 e mantém-se abaixo de 1,5 mm, em módulo, para os experimentos com a onda portadora L2.

As maiores diferenças obtidas na comparação entre os parâmetros PCVs associados aos vetores PCOs propagados e os parâmetros PCVs associados aos vetores PCOs próprios, em todos os experimentos, são apresentadas no gráfico da FIGURA 69.



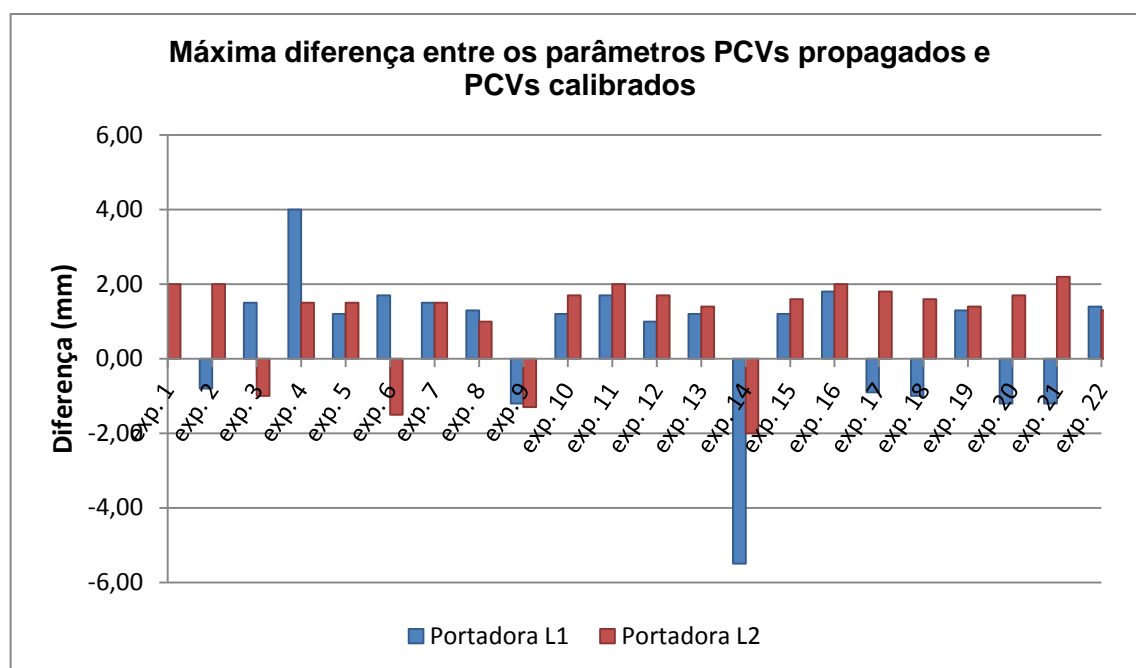


FIGURA 69 – DIFERENÇA MÁXIMA ENTRE OS PARÂMETROS PCVs PROPAGADOS E PRÓPRIOS

Observam-se as diferenças máximas alcançadas nos experimentos 4 e 14, com 4 mm e 5,5 mm, em módulo, respectivamente. Para a maioria dos experimentos, as diferenças máximas atingem, em módulo, valores próximos a 2 mm.

Diante das discrepâncias apresentadas pelos parâmetros PCOs e PCVs obtidos pela metodologia proposta em relação aos parâmetros próprios, destacam-se os resultados dos experimentos 3, 4, 6 e 14.

Analisando-se as componentes verticais dos vetores PCOs das campanhas primárias e secundárias dos respectivos experimentos, evidencia-se tanto a campanha 3, utilizada no experimento 14, quanto a campanha 4, utilizada nos experimentos 3, 4 e 6, por apresentarem componentes verticais que se destacam das demais pelos seus valores para a onda portadora L1, 65,52 mm e 65,54 mm, respectivamente.

Assim, foi verificado se tais parâmetros poderiam ter sido afetados por fatores relacionados ao clima. Após consulta aos registros das estações meteorológicas, constatou-se que houve períodos de precipitação durante o intervalo de tempo de realização da campanha de calibração 3 (14/05/2011), campanha de calibração 4 (30/08/2011) e a campanha de calibração 12 (01/10/11).

Desta forma, a influência que se verifica nas campanhas primárias e/ou secundárias, deverá estar presente também nos parâmetros propagados.

De forma a proporcionar uma visão global dos resultados para as altitudes elipsoidais determinadas em cada experimento, representam-se as discrepâncias para esta coordenada quando são empregados parâmetros propagados e parâmetros NGS em relação ao emprego dos parâmetros próprios (WaSoft) no gráfico da FIGURA 70.

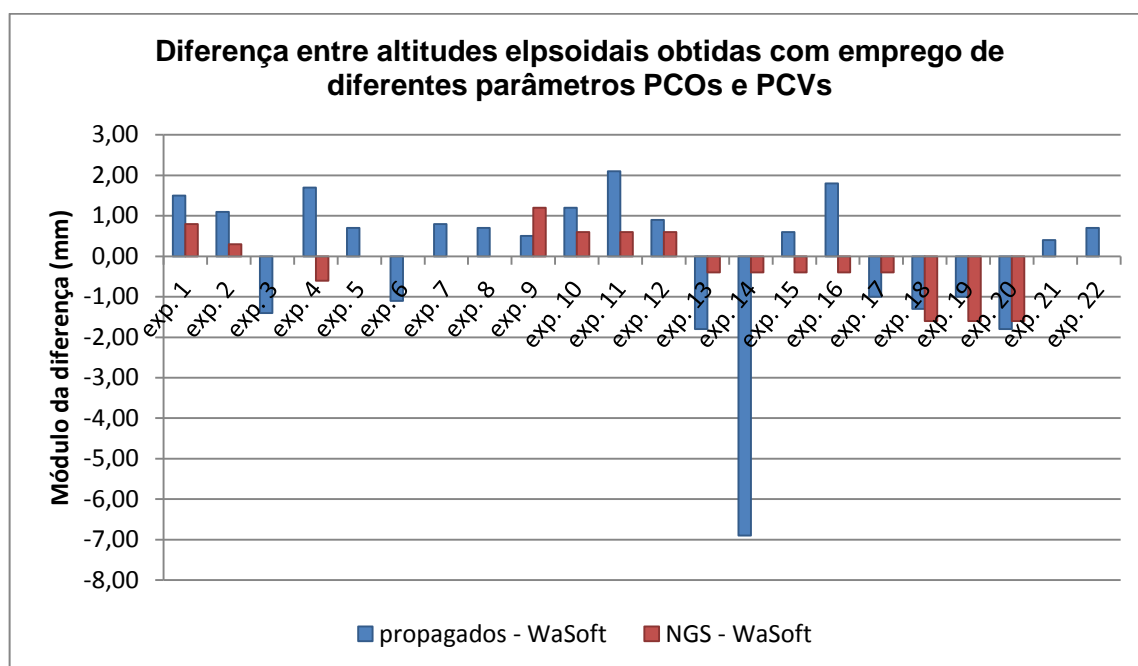


FIGURA 70 – DIFERENÇA DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS DETERMINADAS COM O EMPREGO DE DIFERENTES PCOs E PCVs.

A discrepância apresentada pelo experimento 14 atinge o valor de 6,9 mm, em módulo, quando os parâmetros propagados são empregados. A utilização de parâmetros próprios, possivelmente afetados por fatores climáticos, na determinação dos parâmetros propagados reflete-se na magnitude da discrepância estabelecida no experimento 14. Contudo, para os demais experimentos, a maior parte das discrepâncias permanece abaixo de 2,0 mm, em módulo, com exceção do experimento 11, para o qual a discrepância é ligeiramente maior, em módulo, a este valor. As discrepâncias resultantes da aplicação dos parâmetros NGS, na maioria dos experimentos, permanecem abaixo do valor de 1,0 mm, em módulo. As discrepâncias obtidas para os casos em que não são aplicados parâmetros atingem valores acima de 10 mm em todos os experimentos realizados.

Os resultados alcançados nos experimentos realizados têm como base as componentes do vetor PCO determinadas por propagação numérica. Desta forma, foram determinados 22 pares de vetores PCOs para a antena avaliada. Os valores obtidos em cada experimento, são apresentados na TABELA 45.

TABELA 45 – COMPONENTES DOS VETORES PCOs PROPAGADOS EM CADA EXPERIMENTO

Experimento	Vetor PCO – L1 (mm)			Vetor PCO – L2 (mm)		
	N	E	H	N	E	H
1	0,63	– 1,38	62,56	– 0,25	0,68	62,76
2	0,66	– 1,31	62,48	– 0,08	0,68	62,80
3*	1,74	– 0,30	65,09	– 0,70	0,41	64,35
4*	1,01	– 0,28	62,15	– 0,33	0,16	63,51
5	0,63	– 1,38	62,57	– 0,25	0,68	62,76
6*	1,76	– 0,30	64,95	– 0,71	0,42	64,14
7	1,65	– 0,20	62,84	– 0,91	0,29	63,37
8	1,56	– 0,06	63,03	– 0,75	0,17	63,85
9	1,48	– 0,28	63,84	– 0,60	0,31	64,00
10	1,34	– 0,10	63,28	– 0,88	0,29	63,31
11	1,54	– 0,02	62,65	– 0,65	0,13	63,03
12	1,44	– 0,26	62,86	– 0,57	0,25	63,15
13	0,69	– 1,26	62,80	0,06	0,68	63,21
14*	1,41	– 1,86	67,60	– 0,70	0,68	64,18
15	1,34	– 0,11	63,29	– 0,87	0,29	63,32
16	1,55	0,01	62,58	– 0,66	0,11	63,00
17	1,52	– 0,08	62,96	– 0,63	0,17	63,28
18	1,52	– 0,09	62,97	– 0,63	0,17	63,29
19	0,64	– 1,37	62,82	– 0,21	0,68	63,04
20	1,35	– 0,47	63,10	– 0,51	0,34	63,36
21	0,65	– 1,34	62,88	– 0,14	0,68	63,16
22	1,63	– 0,21	62,96	– 0,88	0,30	63,45

\*experimentos que utilizam campanhas afetadas por precipitação.

Assim, desconsiderando-se os experimentos em que são utilizadas campanhas de calibração afetadas por precipitação, calculam-se os valores médios e os desvios-padrão das componentes dos vetores PCOs propagados para sejam comparados com os valores médios e desvios-padrão referentes aos vetores PCOs calibrados, determinados pelas 10 campanhas de calibração não afetadas por precipitação. Os resultados são apresentados na TABELA 46.

TABELA 46 – MÉDIAS E DESVIOS-PADRÃO DAS COMPONENTES DOS VETORES PCOs PROPAGADOS E PRÓPRIOS

		Portadora L1			Portadora L2		
		N	E	H	N	E	H
PCOs próprios	Média (mm)	1,27	- 0,58	63,15	- 0,47	0,40	63,48
	Desv. Padrão (mm)	0,33	0,46	0,43	0,27	0,18	0,53
PCOs propagados	Média (mm)	1,21	- 0,55	62,92	- 0,52	0,38	63,23
	Desv. Padrão (mm)	0,42	0,59	0,33	0,30	0,22	0,33

Os resultados foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S), para a verificação de normalidade, e ao teste t de Student, com o objetivo de verificar se as diferenças apresentadas entre as médias dos parâmetros propagados e as médias dos parâmetros próprios são significativas.

Para o teste de normalidade, adota-se como hipótese nula ( $H_0$ ) de que os valores pertencem a uma distribuição normal, com uma significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ). O valor crítico para o teste referente ao número de elementos da amostra é de 0,3094. A TABELA 47 apresenta os valores obtidos para o teste K-S.

TABELA 47 – RESULTADO PARA O TESTE K-S PARA AS COMPONENTES DO VETOR PCO PROPAGADO

Componentes PCO	Portadora L1			Portadora L2		
	N	E	H	N	E	H
Experimento K-S	0,2884	0,2919	0,1626	0,1747	0,2415	0,1705

Os resultados para o teste K-S indicam que  $H_0$  deve ser aceita, para uma significância de 5% e, assim, podem ser considerados pertencentes a uma distribuição normal.

Para o experimento t, consideram-se variâncias desconhecidas e diferentes adota-se como  $H_0$  a hipótese de que as médias para os parâmetros propagados não apresentam uma diferença significativa em relação aos parâmetros próprios, a um nível de significância de 5%. A hipótese alternativa ( $H_1$ ) se caracteriza por considerar que a diferença entre as médias é significativa. A TABELA 48 apresenta os resultados para o experimento t.

TABELA 48 – RESULTADO PARA O TESTE t PARA AS COMPONENTES DO VETOR PCO PROPAGADO

Componentes PCO	Portadora L1			Portadora L2		
	N	E	H	N	E	H
<b>Valor crítico <math>t_{\alpha/2}</math></b>	2,0687	2,0687	2,1315	2,0796	2,0687	2,1604
<b>Experimento t</b>	0,39479	- 0,12665	1,4731	0,48320	0,20224	1,3372

Como o experimento conduzido é bilateral e os resultados indicam que  $|t| < t_{\alpha/2}$ , a hipótese nula não pode ser rejeitada, com uma significância de 5%. Assim, considera-se que as médias dos parâmetros propagados não apresentam diferenças significativas quando comparadas às médias dos parâmetros próprios.

## 6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVA DE TRABALHO FUTURO

Através dos experimentos realizados e levando-se em consideração de que as componentes do vetor PCO têm comportamento aproximadamente linear, possibilitando o desenvolvimento de um modelo matemático para a estimativa dessas componentes partindo de condições iniciais, e propagando-se numericamente até uma data específica e determinando-se os valores das PCVs correspondentes, pode-se concluir que a metodologia proposta mostrou-se promissora.

Comparando-se as componentes verticais dos vetores PCOs propagados às respectivas componentes calibradas, as maiores diferenças, apresentadas pelos experimentos 3, 6 e 14, relacionam-se com a utilização de parâmetros estabelecidos em campanhas de calibração sujeitas a períodos de precipitação. Para os demais experimentos as diferenças, em módulo, mantiveram-se abaixo de 1,5 mm.

Com relação aos parâmetros PCVs, as maiores diferenças encontradas nas comparações com as PCVs originais, experimentos 4 e 14, também estão relacionadas à campanhas em que ocorreram períodos de precipitação. As diferenças encontradas pelos demais experimentos apresentam um valor máximo de pouco mais de 2,0 mm, em módulo.

Os parâmetros PCOs e PCVs obtidos pela proposta metodológica quando empregados na determinação das coordenadas geodésicas dos pontos observados produziram, para a altitude elipsoidal, discrepância máxima, em módulo, um pouco maior do que 2,0 mm, com exceção do experimento 14, responsável pelas maiores discrepâncias nas comparações estabelecidas com parâmetros PCOs e com parâmetros PCVs.

Considerando apenas os experimentos em que são realizadas propagações baseadas em campanhas de calibração não afetadas por períodos de precipitação, as diferenças máximas chegam a 1,5 mm para os PCOs, 2,2 mm para as PCVs e a 2,1 mm, em módulo, para as altitudes elipsoidais, o que inclui experimentos com parâmetros obtidos com diferentes tempos de propagação, parâmetros referentes a uma determinada data no intervalo de tempo da propagação e experimentos que utilizam diferentes linhas de base.

O experimento em que foi utilizado o maior tempo de propagação, experimento 19, com 326,73 DJM (pouco mais de 10 meses e 26 dias), apresenta também a maior linha de base (105 km), os resultados obtidos são comparáveis aos experimentos em que se utilizam tempo de propagação e linhas de base menores.

Com relação às linhas de base utilizadas, os experimentos que empregam linhas de base curtas produzem diferenças entre os parâmetros, propagados e calibrados, comparáveis às diferenças dos parâmetros produzidos nos experimentos em que são empregadas linhas de base longas. Portanto, para os experimentos realizados, as diferentes linhas de base não influenciaram nas diferenças entre os parâmetros de calibração propagados de maneira significativa.

O método proposto pela pesquisa, deve ser levado em conta como uma alternativa, dependendo do nível de acurácia desejado, à estimativa de parâmetros próprios do centro de fase da antena aplicando um modelo matemático baseado em integração numérica, utilizando parâmetros estabelecidos por duas campanhas de calibração não afetadas por precipitação.

Entretanto, a proposta apresentada não tem por objetivo substituir o procedimento de calibração da antena, uma vez que se trata de um modelo aproximado que pode ser levado em conta perante a necessidade de utilização de parâmetros próprios da antena e a impossibilidade de realização de uma campanha de calibração para obtê-los.

Como os objetivos foram atingidos e as coordenadas geodésicas calculadas nos experimentos são compatíveis com aqueles apresentados com o emprego de parâmetros calibrados pode-se afirmar que a metodologia proposta é viável.

Como perspectiva de trabalho futuro sugere-se a investigação sobre o intervalo de tempo máximo em que a propagação pode ser aplicada para a determinação dos parâmetros PCOs e PCVs. Outra atividade de investigação consiste em estabelecer parâmetros do centro de fase para outras antenas GNSS. Recomenda-se também a análise dos resíduos de forma a relacioná-los com as coordenadas dos satélites buscando uma modelagem envolvendo funções harmônicas esféricas. Finalmente, disponibilizar ao usuário um arquivo executável visando à predição dos parâmetros do centro de fase da antena utilizada possibilitaria colocar em prática a metodologia apresentada de forma acessível para situações em que a calibração de antenas se faz necessária, porém inviável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATKINSON, K. E. **An Introduction to Numerical Analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1978.

BALANIS, C. A. **Antenna Theory: Analysis and Design**. 2nd edition. New York. John Wiley & Sons, Inc., 1997.

BALANIS, C. A. **Antenna Theory: Analysis and Design**. 3rd edition. New York. John Wiley & Sons, Inc., 2005.

BARTELS, G. A. **GPS–Antenna Phase Center Measurements Performed in an Anechoic Chamber**. Series 08 Astrodynamics and Satellite Systems 02. Delft University Press, 1997.

BECKER, M.; ZEIMETZ, P.; SCHONEMANN, E. **Anechoic Chamber Calibrations of Phase Center Variations for New and Existing GNSS Signals and Potential Impacts on IGS Processing**. IGS Workshop, June 28 – July 2, Newcastle Upon Tyne, England, 2010.

BEUTLER, B.; BAUERSIMA, I.; BOTTON, S.; GURTNER, W.; ROTHACHER, M.; SCHILDKNECHT, T. **Accuracy and Biases in the Geodetic Application of the Global Positioning System**. Manuscripta Geodaetica, 14(1), pp 28-35, 1989.

BILICH, A.; SCHMITZ, M.; GÖRRES, B.; ZEIMETZ, P.; MADER, G.; WÜBBENA, G. **Three-Method Absolute Antenna Calibration Comparison**. IGS Workshop University of Warmia and Mazury (UWM). July 23-27, Olsztyn, Poland, 2012.

BORN, M.; WOLF, E. **Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation Interference and Diffraction of Light**. 6th edition. Great Britain, 1980.

BOUSSAAD, A.; ROCK, S.; ALAIN, G. **Calibrating Antenna Phase Centers – A Tale of Two Methods**. GPS World, February 1, 2005.

BOYCE, E. W.; DIPRIMA, C. R. **Equações Diferenciais Elementares e Problemas de Valores de Contorno**.

BROWER, D; CLEMENCE, G. M.; **Methods of Celestial Mechanics**. Academic. New York, N. Y., 1961.



CHATZINIKOS, M.; FOTIOU, A.; PIKIRIDAS, C. **The Effects of the Receiver and Satellite Antenna Phase Center Models on Local and Regional GPS Networks.** Proceedings International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields. November 5-6, Sofia, Bulgaria, 2009.

CHEN, X.; PARINI, C. G.; COLLINS, B.; YAO, Y.; REHMAN, M. U. **Antennas for Global Satellite Systems.** United Kingdom. John Wiley & Sons Ltd, 2012.

CHEN, Y. Q.; CHRZANOWSKI, A. **Integration of GPS with Levelling in Ground Subsidence Studies: Mathematical Modelling.** Proceedings of the 8th International Symposium on Geodetic Computations, J. Chen, ed., Int. Academic Publishers, 21-29, Beijing, China, 1990.

de JONG, G. **The Phase Center of a Monopole Antenna.** Radio Science, vol.17, No. 2, pp 349-355, March–April, 1982.

DRANE, C.; RIZOS, C. **Positioning Systems in Intelligent Transportation Systems.** Norwood. Artech House, 1998.

EL-HATTAB, A. I. **Influence of GPS Antenna Phase Center Variation on Precise Positioning.** NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics. No. 2, pp. 272-277, 2013.

FERREIRA, L. D. D.; de MORAES, R. V. **GPS Satellites Orbits: Resonance.** Mathematical Problems in Engineering, vol. 2009, 12 pages, 2009.

FREIBERGER JUNIOR, J. **Investigações da Calibração Relativa de Antenas GNSS.** Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2007.

GÖRRES, B.; CAMPBELL, J.; BECKER, M.; SIEMES, M. **Absolute Calibration of GPS Antennas: Laboratory Results and Comparison with Field and Robot Techniques.** GPS Solutions, vol. 10, pp 136-145, 2006a.

GÖRRES, B.; CAMPBELL, J.; SIEMES, M.; BECKER, M. **New Anechoic Chamber Results and Comparison with Field and Robot Techniques.** IGS Meeting, Bern, 2006b.

HECHT, E. **Optics** 2nd ed. Addison-Wesley Publishing Company, 1990.

HUINCA, S. C. M. **Calibração Relativa de Antennas GNSS na BCAL/UFPR**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2009.

HUINCA, S. C. M.; KRUEGER, C. P.; MAYER, M.; KNÖPFLE, A.; HECK, B. **First Results of Relative Field Calibration of a GPS Antenna at BCAL/UFPR**. Geodesy for Planet Earth. International Association of Geodesy Symposia, vol. 136, pp 739-744, 2012.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas**. Antenna Standards Committee of IEEE Antennas and Propagation Group. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, New York, 1983.

KRAUS, J. D. **Electromagnetics**. 4th ed. New York. McGraw-Hill, 1992.

KRAUS, J. D.; MARHEFKA, R. J. **Antennas: for all applications**. 3rd ed. New York. McGraw-Hill, 2002.

KRUEGER, C. P.; FREIBERGER, J.; HECK, B.; MAYER, M.; KNÖPFLE, A.; SCHÄFER, B. **Establishing a GNSS Receiver Antenna Calibration Field in the Framework of Probal**. Earth: Our Changing Planet. Proceedings of IUGG XXIV General Assembly Perugia, Italy 2007

LEICA AR25. Disponível em <<http://www.leica-geosystems.com>>. Acesso em: 05 de março de 2013.

MACHADO, K. D. **Teoria do Eletromagnetismo** Vol 3. Ponta Grossa. Editora UEPG, 2006.

MADER, G. **GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey**. GPS Solutions, vol. 3, No. 1, pp 50-58, 1999.

MARKOV, G. **Antennas**. Moscow. Progress Publishers, 1965.

MENGE, F.; SEEGER, G.; VÖLKSEN, C.; WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M. **Results of Absolute Field Calibrations of GPS Antenna PCV**. Proceedings of the 11th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GPS-98, pp 31-38, September 15-18, Nashville, Tennessee, USA, 1998.

MENGE, F. **Zur Kalibrierung der Phasenzentrumsvariationen von GPS-antennen für die Hochpräzise Positionsbestimmung.** Genehmigte Dissertation. Hanover, 2003.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** 2 ed. São Paulo. Editora UNESP, 2008.

MORESCKI JUNIOR, L. F. M. M.; FERREIRA, L. D. D. **Determinação dos Coeficientes dos Harmônicos Esféricos para o Cálculo dos Parâmetros PCV e PCO Utilizando Dados de Programas Comerciais de Calibração.** Boletim de Ciências Geodésicas, vol. 20, No. 2, pp 444-466, 2014.

ORFANIDIS, S. J. **Electromagnetic Waves and Antennas.** ECE Department, Rutgers University, 2008.

PINKER, A.; ADAMS, S.; PEEPLES, D. **The saga of L.** In: Proceedings of the National Technical Meeting "Navigation 2000". ION GPS, January, pp 21-23, California, 1998.

RALSTON, A.; RABINOWITZ, P. **A First Course in Numerical Analysis.** 2nd edition. New York: McGraw-Hill, 1984.

RAO, B. R.; KUNYSZ, W.; FANTE, R.; McDONALD, K. **GPS/GNSS Antennas.** Boston. Artech House, 2013.

REITZ, J. R.; MILFORD, F. J.; CHRISTY, R. W. **Fundamentos da Teoria Eletromagnética.** São Paulo. Editora Campus, 1988.

ROTHACHER, M.; SCHAER, S.; MERVART, L.; BEUTLER, G. **Determination of Antenna Phase Center Variations Using GPS Data.** In: IGS Workshop, May 15-17, Potsdam, Germany, 1995.

ROTHACHER, M.; MADER, G. **Combination of Antenna Phase Center Offsets and Variations.** 1996, Antenna Calibration Set IGS\_01. Disponível em: < [http://www.aiub.unibe.ch/download/igs\\_01.txt](http://www.aiub.unibe.ch/download/igs_01.txt) > Acesso em: 12/01/2014.

SCHAER, S.; BEUTLER, G.; MERVART, L.; ROTHACHER, M.; WILD, U. **Global and Regional Ionosphere Models Using GPS Double Difference Phase Observable.** IGS Workshop, May 15-17, Potsdam, Germany, 1995.

SCHMID, R. **IGS Phase Center Model igs08.atx - Current Status and Future Improvements.** Kolloquium Satellitennavigation, 04. Juli, TU München, 2011.

SCHUPLER, B. R.; CLARK, T. A.; ALLHOUSE, R. L. **Characterization of GPS User Antennas: Reanalysis and New Results.** GPS Trends in Precise Terrestrial, Airborne and Spacecraft Applications, Proceedings of the International Association of Geodesy Symposium, Springer-Verlag Publishers, n° 115, pp 328-332, 1996.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications.** Berlin. Walter de Gruyter, 1993.

SEEBER, G. **Real-time satellite positioning on the centimetre level in the 21<sup>st</sup> century using permanent reference stations.** Nordie Geodetic Summerschool, Fevik, Norway, 2000.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications.** 2<sup>nd</sup>. Edition, Berlin. Walter de Gruyter, 2003.

WAKKER, K. F.; AMBROSIUS, B. A. C.; LEENMAN, H.; NOOMEN, R. **Navigation and Orbit Computation Aspects of the ESA Navsat System Concept.** Acta Astronautica. vol. 15, No. 4, pp. 195-208, 1987.

WANNINGER, L. **Möglichkeiten und Grenzen der relative GPS Antennenkalibrierung.** Zeitschrift für Vermessungswesen. No. 1, p.51-58, 2002.

WERLICH, R. M. C. **Análise da Influência dos Parâmetros de Calibração de Antenas de Receptores GPS no Posicionamento de Alta Precisão.** Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2012.

WESTON, N. D.; MADER, G. L. **GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey.** FIG Working Week, Stockholm, Sweden, 14-19 June, 2008.

WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M. **Automated Absolute Field Calibration of GPS Antennas in Real-Time.** Proceedings ION GPS 2000, September 19-22, Salt Lake City, UT, 2000.

WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M.; MATZKE, N. **On GNSS In-Situ Calibration of Near-Field Multipath.** International Symposium on GNSS, Space-Based Augmentation Systems and Applications, November 29-30, Brussels, Belgium 2010.

ZEIMETZ, P.; KUHLMANN, H. **On the Accuracy of Absolute GNSS Antenna Calibration and the Conception of a New Anechoic Chamber.** GNSS Antenna Calibration and Accuracy Assessment. FIG Working Week, Stockholm, Sweden, 14-19 June, 2008.